

Aus der Medizinischen Poliklinik
der Universität Erlangen—Nürnberg
(Direktor: Prof. Dr. med. Kurt Bachmann)

Telemetrie von arteriellem Blutdruck und Herzfrequenz unter alltäglichen und sportlichen Belastungen im Vergleich zur Fahrradergometrie

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Vorgelegt von
Axel Hey
aus Stadtsteinach

1980 # 141

Aus der Medizinischen Poliklinik
der Universität Erlangen—Nürnberg
(Direktor: Prof. Dr. med. Kurt Bachmann)

Telemetrie von arteriellem Blutdruck und Herzfrequenz unter alltäglichen und sportlichen Belastungen im Vergleich zur Fahrradergometrie

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Vorgelegt von
Axel Hey
aus Stadtsteinach

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. W. Kersten

Referent: Prof. Dr. K. Bachmann

Tag der mündlichen Prüfung: 25.02.1980

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Probanden und Methodik	
2.1. Probanden	6
2.2. Methodik	6
2.2.1. Telemetrische Registrierung von arteriellem Blutdruck und Herzfrequenz	6
2.2.2. Untersuchungsprotokoll	9
2.2.3. Statistische Auswertung der Daten	11
3. Ergebnisse	
3.1. Ruhewerte	13
3.2. Treppensteigen	13
3.3. Skihocke	15
3.4. Rudern	17
3.4.1. Dauerrudern	17
3.4.2. Maximales Rudern	18
3.5. Skilaufen	21
3.5.1. Skiaufstieg	22
3.5.2. Skilanglauf	24
3.5.3. Skiabfahrt	25
3.6. Dauerlauf	27
3.7. Mentale Belastung	28
3.8. Arterieller Mitteldruck - Vergleich der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen mit der Fahrradergometrie	30
3.9. Quotient aus arterieller Blutdruckamplitude und arteriellem Mitteldruck - Vergleich der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen mit der Fahrradergometrie	33
3.10. Systolisches Druckfrequenzprodukt - Vergleich der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen mit der Fahrradergometrie	38
4. Diskussion	44
Zusammenfassung	55
Literaturverzeichnis	59



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546215_0072

1. Einleitung

Die berufliche und sportliche Aktivität von älteren Personen und von Patienten mit Herz-Kreislaufkrankheiten, insbesondere koronarer Herzkrankheit und Hypertonie, verlangt vom Arzt häufig Entscheidungen über Art und Intensität der noch tolerablen physischen und psychischen Belastungen. Um zu entscheiden, welche Belastung noch zulässig und welche als Risiko im akuten oder chronischen Sinne einzustufen ist, müssen gleichermaßen Informationen über die individuelle Leistungsbreite und über die typischen hämodynamischen Reaktionen auf die verschiedenen Belastungsformen im Alltag und im Sport vorliegen. Die individuelle Belastungstoleranz ist mit Hilfe der Ergometrie in Klinik und Praxis abschätzbar. Anders liegen die Verhältnisse bei der Beurteilung verschiedener alltäglicher und sportlicher Belastungen hinsichtlich Herzfrequenz und arteriellem Blutdruck, sowie dem systolischen Druck-Frequenzprodukt als Indikator des myokardialen Sauerstoffverbrauchs. Eine Umfrage unter jeweils 50 Medizinstudenten, Allgemeinärzten und Internisten im Zeitraum 1977/78 erbrachte das Resultat, daß die Blutdruckreaktion auf physische Belastungen wie Schwimmen, Ski-Abfahrtslauf, isometrische Belastung und das Sauna-Tauchbecken unterschätzt werden. Noch erheblicher sind die Unterschätzungen der Herzfrequenz, von denen keine der physischen Belastungen ausgenommen bleibt. Dagegen werden psychische bzw. mentale Belastungen wie Rechnen, Autofahren oder Examensprüfungen teilweise in ihrer hämodynamischen Auswirkung überschätzt (10).

Diese Unsicherheit bei der Abschätzung hämodynamischer Reaktionen veranlaßte uns, bei insgesamt 400 normotonen Probanden ohne Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems die radiotelemetrischen Untersuchungen des arteriellen Blutdrucks mit der Mikrokathetermethode und der Herzfrequenz mit Berechnung des systolischen Druck-Frequenzproduktes unter verschiedenartigen physischen und mentalen

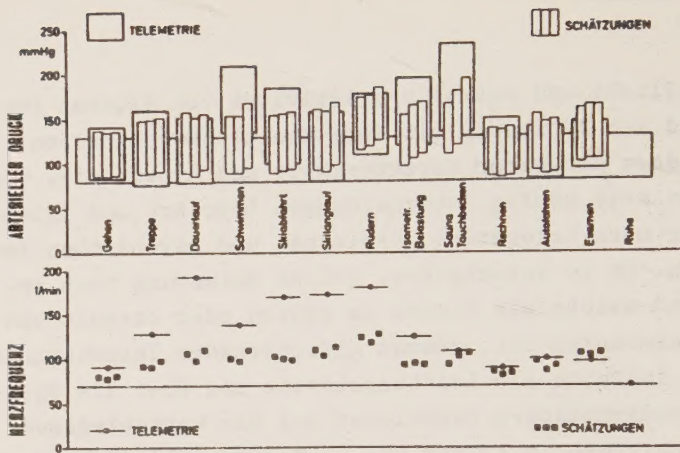


Abb. 1. Vergleich der Resultate radiotelemetrischer Messungen von arteriellem Blutdruck und Herzfrequenz mit Schätzungen dieser Parameter durch Ärzte für Allgemeinmedizin, Internisten und Medizinstudenten für verschiedene alltägliche und sportliche Belastungsformen. Bei mentalen Belastungen wie Autofahren und Examensprüfungen liegen die tatsächlich gemessenen hämodynamischen Reaktionen unter den Schätzwerten, während andererseits die Herz-Kreislaufreaktion unter körperlichen Belastungen teilweise erheblich unterschätzt wird.

(nach BACHMANN)

Belastungen mit standardisierter fahrradergometrischer Belastung zu vergleichen. Die Belastungshämodynamik des großen Kreislaufs wird repräsentiert durch Herzfrequenz, arterielles Blutdruckprofil und systolisches Druckfrequenzprodukt.

Eine Beurteilung verschiedenartiger sportlicher und alltäglicher Belastungen war lange Zeit nur durch die telemetrische EKG-Registrierung mittels Bandspeicher oder Radiotelemetrie möglich (12, 14, 19, 27, 32, 35, 50, 52, 60, 61, 65). Wie in den weiteren Ausführungen dargelegt wird, ist die Herzfrequenz allein jedoch nicht repräsentativ für die tatsächliche kardiovaskuläre Belastung.

Blutdruckmessungen mit der Manschettenmethode sind bei den meisten alltäglichen und sportlichen Aktivitäten aus methodischen Gründen nicht praktikabel (4, 69). Beeinflussung der Meßwerte durch den Oberarmumfang, die Artefakt-

überlagerung, die Unsicherheit der auskultatorischen Kriterien für den diastolischen Blutdruck bei erhöhtem Herzminutenvolumen und die geringe zeitliche Auflösung lassen eine indirekte Blutdruckmessung bestenfalls unter ergometrischer Belastung im Labor zu (18, 30, 34, 36, 48, 54, 60). Deshalb wurde seit 1967 von BACHMANN und Mitarbeitern das Verfahren der kontinuierlichen drahtlosen Übertragung des direkten Blutdrucks entwickelt. Diese Methode ermöglicht es, erstmals an unbehinderten Probanden außerhalb des Labors unter beliebigen Bedingungen die hämodynamischen Reaktionen zu erfassen (3, 5, 6, 7, 8, 9, 20, 21, 68, 69, 70, 71).

Die Blutdrucktelemetrie erlaubt die kontinuierliche Bestimmung des systolischen Druckfrequenzproduktes, das in den vergangenen Jahren wiederholt als Indikator des myokardialen Sauerstoffverbrauchs bestätigt wurde (13, 24, 36, 37, 38, 41, 42, 48, 54, 55, 57, 58, 63, 67). Fernerhin ist durch die kontinuierliche Integration des arteriellen Mitteldrucks und die exakte Bewertung der Blutdruckamplitude unter Belastung die Ermittlung des Quotienten aus Blutdruckamplitude und arteriellem Mitteldruck möglich. Nach GAUER (23) läßt sich daraus das Verhältnis von Volumenbelastung zu Druckbelastung des Kreislaufs abschätzen.

Die Hämodynamik im großen Kreislauf wird durch drei Determinanten bestimmt: Diese sind Schlagvolumen, Herzfrequenz und Windkesselfunktion des arteriellen Systems. Diese drei Determinanten werden durch verschiedene Arten von Muskulararbeit und emotionellen Stress unterschiedlich beeinflußt. Dabei ist das Verhalten des gesamtperipheren Widerstandes maßgeblich für die Blutdruckamplitude und den arteriellen Mitteldruck. Charakteristisch für dynamische Muskelbelastungen, wie Gehen, Laufen, Radfahren, kurz alle Bewegungsübungen, ist die Abnahme des gesamtperipheren Widerstandes gegenüber dem Ausgangswert in Ruhe, die Steigerung der Herzfrequenz und ein annähernd konstantes Schlagvolumen des Herzens (23). Das Resultat

ist eine Steigerung des Herzminutenvolumens zur Deckung des erhöhten muskulären Sauerstoffbedarfs bis auf das 3- bis 4fache des Ruhewertes (2). Dabei bleibt der diastolische arterielle Blutdruck annähernd konstant, der systolische arterielle Blutdruck erreicht beim gesunden normotonen Probanden Werte zwischen 150 und 200 mm Hg, so daß der arterielle Mitteldruck nur einen geringfügigen Anstieg gegenüber dem Ruhewert zeigt. Der elastische Widerstand des Aortenwindkessels wird unter Belastung nicht wesentlich geändert. Durch den erhöhten Abfluß infolge Senkung des statischen (gesamtperipheren) Widerstandes nimmt die Amplitude bei Frequenzsteigerung nicht ab, sondern grundsätzlich zu (66).

Andere Verhältnisse finden sich bei rein isometrischer Belastung, wie die grundlegenden Arbeiten der Gruppe um LIND und DONALD gezeigt haben (15, 46, 47). Unabhängig von der beteiligten Muskelmasse führen isometrische Kontraktionen von mehr als 20 % der maximal willkürlich erreichbaren Kontraktionskraft zu einem erheblichen Anstieg sowohl des systolischen als auch des diastolischen Blutdrucks. Die Herzfrequenz erreicht nur wesentlich geringere Werte (um 120 Schläge/min) im Vergleich zur maximalen dynamischen Muskelarbeit. Charakteristisch für die isometrische Muskelbelastung ist die Zunahme des gesamtperipheren Widerstandes, so daß die beschriebenen extremen Blutdruckanstiege ohne wesentliche Steigerung des Schlagvolumens und der Herzfrequenz zustandekommen.

Ziel der Untersuchungen ist es, mit Hilfe der kontinuierlichen Radiotelemetrie des direkten arteriellen Blutdruckes Durchschnittswerte von Herzfrequenz, arteriellem Blutdruck, systolischem Druckfrequenzprodukt und dem Quotienten aus Blutdruckamplitude und arteriellem Mitteldruck unter folgenden alltäglichen, mentalen und sportlichen Belastungen bei normotonen, herz-kreislaufgesunden Probanden zu gewinnen: Treppensteigen, Rechnen, Skiaufstieg, Skilanglauf, Skiabfahrt, Dauerrudern, maximales

Rudern, Dauerlauf und isometrische Belastung (Skihocke). Diese Resultate sollen mit den Ergebnissen der stufenweise ansteigenden, maximalen Fahrradergometrie im Sitzen verglichen werden. An Hand der Herzfrequenz und des systolischen Druckfrequenzproduktes soll einmal die der jeweiligen Belastung entsprechende Ergometerarbeit abgeschätzt werden, zum anderen sollen Unterschiede der hämodynamischen Reaktion herausgearbeitet werden.

2. Probanden und Methodik

2.1. Probanden

Für die Auswertung wurden insgesamt 400 normotone, herzkreislaufgesunde Probanden mit einem Durchschnittsalter von 31 ± 9 Jahren herangezogen, bei denen kontinuierliche radiotelemetrische Messungen des direkten arteriellen Blutdruckes und der Herzfrequenz durchgeführt wurden. Die in unterschiedlichen Gruppen (Probandenzahl zwischen 8 und 30, Tabellen 1 und 2) untersuchten alltäglichen und sportlichen Belastungen wurden mit den Ergebnissen der stufenweise ansteigenden, maximalen Fahrradergometrie im Sitzen verglichen. Diejenigen Gruppen, die Treppensteigen oder isometrische Belastung (Skihocke) absolvierten, wurden in voller Zahl auch der vergleichenden Fahrradergometrie unterzogen. Bei allen übrigen Belastungsarten war aus methodischen Gründen der direkte Vergleich mit der Fahrradergometrie in derselben Gruppe nicht möglich. Deshalb wurden Vergleichsgruppen mit angenähert gleichen biometrischen Daten (Alter, Körpergewicht und Körpergröße) und angenähert gleichen Ruhewerten von Blutdruck und Herzfrequenz zusammengestellt (Tabellen 1 und 2).

2.2. Methodik

2.2.1. Telemetrische Registrierung von arteriellem Blutdruck und Herzfrequenz

Die Messung des arteriellen Blutdruckes erfolgte über einen perkutan-transfemoral (Seldinger-Technik) in der Aorta abdominalis lokalisierten roten Ödman-Ledin-Katheter. Der Druckwandler (Statham P 23 Db) war prästernal in Höhe der 2. Rippe fixiert. Das System war mit heparinierter 0,9%iger Kochsalzlösung gefüllt und wurde inter-

Biometrische Daten				
Belastung	n	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)
Rechnen	19	34,9 ± 6,6		71,4 ± 11,3
Treppensteigen und Ergometrie	30	30,8 ± 8,8	177,6 ± 5,8	77,7 ± 9,3
Skihocke und Ergometrie	22	27,6 ± 10,3	177,8 ± 7,9	76,1 ± 9,0
Skiaufstieg und Skiabfahrt	16	26,1 ± 4,1	177,3 ± 3,9	74,3 ± 8,1
Skilanglauf	14	25,9 ± 4,2	176,7 ± 3,8	74,1 ± 8,7
Vergleichsgr. Ergometrie	22	25,9 ± 5,0	179,0 ± 6,0	76,5 ± 8,5
Rudern-Spurt u. Dauerrudern	10	25,5 ± 2,0	176,9 ± 6,3	74,6 ± 10,5
Dauerlauf	8	25,5 ± 2,1	177,4 ± 6,5	76,8 ± 10,7
Vergleichsgr. Ergometrie	15	27,3 ± 4,5	179,1 ± 6,9	79,0 ± 9,1

Tabelle 1:

Probandenzahl (n), biometrische Daten (Alter, Größe, Gewicht) der untersuchten Belastungsgruppen und der Ergometervergleichsgruppen (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Ruhewerte				
Belastung	F (Schl./min)	SAP (mmHg)	DAP (mmHg)	MAP (mmHg)
Rechnen	72,6 ± 9,2	133,9 ± 11,9	74,7 ± 7,5	96,6 ± 8,7
Treppensteigen und Ergometrie	71,1 ± 12,4	127,8 ± 13,8	73,7 ± 8,7	95,2 ± 10,6
Skihocke und Ergometrie	72,5 ± 9,9	132,7 ± 13,3	74,6 ± 8,0	97,0 ± 9,4
Skiaufstieg und Skiabfahrt	100,3 ± 16,9	129,1 ± 15,1	81,5 ± 11,9	100,7 ± 12,1
Skilanglauf	100,2 ± 17,7	130,9 ± 11,5	83,0 ± 10,2	102,9 ± 8,1
Vergleichsgr. Ergometrie	72,2 ± 13,3	135,6 ± 11,7	78,5 ± 8,0	101,1 ± 7,9
Rudern-Spurt u. Dauerrudern	76,0 ± 11,6	136,9 ± 9,4	86,7 ± 6,1	105,1 ± 6,1
Dauerlauf	75,1 ± 13,3	138,0 ± 10,7	87,4 ± 6,3	106,3 ± 6,3
Vergleichsgr. Ergometrie	74,7 ± 14,4	141,1 ± 8,5	82,1 ± 7,2	105,3 ± 5,7

Tabelle 2:

Systolischer (SAP) und diastolischer (DAP) arterieller Blutdruck, arterieller Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz (F) der untersuchten Belastungsgruppen und der Ergometervergleichsgruppen unter Ruhebedingungen (Mittelwerte und Standardabweichungen)

mittierend nach Zwischeneichungen gespült. Zur Integration der Herzfrequenz wurde das Elektrokardiogramm bipolar präkordial abgeleitet. Blutdruck und Elektrokardiogramm wurden drahtlos mit einer Vierkanal-Telemetrieanlage mit programmierbaren Vorverstärkern im 151 MHz-Band übertragen. Die Sendeanlage mit einem Gewicht von 1,4 kg trug der Proband in einer Spezialweste auf dem Rücken. Die Empfangsstation mit Bandspeicher befand sich bei der Ergometrie, beim Treppensteigen, beim Rechnen und bei der Skihocke im Laboratorium, während sie beim Rudern und beim Laufen mobil in einem Pkw und beim Skifahren im 1. Obergeschoß eines Wohnhauses 100 m vom Fuß des Abfahrtshanges entfernt installiert war.

Über den Ödman-Ledin-Katheter steht der arterielle Kreislauf mit einem Druckwandler in Verbindung, dessen Ausgangssignal verstärkt und frequenzmoduliert wird. Die modulierte Unterträgerfrequenz moduliert ihrerseits die Trägerfrequenz des Senders. Im Labor wird diese Trägerfrequenz wieder abgetrennt, das frequenzmodulierte Unterträgersignal auf Band gespeichert oder demoduliert und direkt registriert. Durch Integration werden der arterielle Mitteldruck und die Herzfrequenz erhalten.

2.2.2. Untersuchungsprotokoll

Nach Registrierung der Ruhewerte im Liegen erfolgte die Fahrradergometrie im Sitzen auf einem mechanisch gebremsten Monark-Ergometer. Nach zweiminütigem Eintreten im Leerlauf wurde mit 50 bzw. 75 Watt für vier Minuten begonnen. Dann erfolgte jeweils nach zwei Minuten eine stufenweise Steigerung um 25 bzw. 50 Watt bis zur individuell erreichbaren Leistungsgrenze. Nach Belastungsende folgten zwei Minuten Treten im Leerlauf, weitere vier Minuten Sitzen auf dem Ergometer mit anschließender Ruhepause im Liegen bis zum Erreichen der Ausgangswerte.

Beim Treppensteigen begann die Untersuchung im Laboratorium mit einer Registrierung der Ruhewerte im Liegen.

Daraufhin wurden die Probanden von einer ärztlichen Begleitperson in den Keller geführt. Nach einer Ruhepause zur Normalisierung der Herz- und Kreislaufverhältnisse begann der Treppenaufstieg. Es wurden vier Stockwerke mit einem Höhenunterschied von 18 Metern bewältigt. Unmittelbar nach Erreichen des obersten Stockwerkes schloß sich der Treppenabstieg an. Der Aufstieg dauerte 2 min. Der Untersuchungsgang beim Rudern begann mit einer Registrierung der Ruhewerte im Liegen. Anschließend fuhr der Proband vom Laboratorium aus im eigenen Pkw zu einem 6 km entfernten See. Nach einer 30minütigen Ruhepause erfolgte ein Stehversuch von zwei Minuten Dauer. Darauf folgte ein einstündiges Dauerrudern, unterbrochen von vier zweiminütigen Zwischenspurts. Die Zeit vor dem ersten Spurt diente dem langsamen Einrudern, während zwischen den Spurts vom ärztlichen Begleiter darauf geachtet wurde, daß die minimale trainingswirksame Herzfrequenz nicht unterschritten wurde.

Die Untersuchungen beim Skifahren wurden in Oberwarmensteinach (Fichtelgebirge) vorgenommen. Alle Probanden hatten mit Normalskiern das gleiche Programm zu absolvieren: dreimal Liftfahrt mit anschließender Abfahrt eines 600 m langen Hanges mit einem maximalen Gefälle von 30 %. Aufstieg zu Fuß mit Skiern über der Schulter, Abfahrt nach dem Aufstieg und zum Abschluß 15 Minuten Langlauf. Zwischen den einzelnen Belastungen wurden Ruhepausen eingelegt zur Normalisierung von Blutdruck und Herzfrequenz. Die Schneeverhältnisse waren ausreichend, die Piste zum Teil stark abgefahren und mit Eisflächen durchsetzt. Die Außentemperaturen betrugen während der ganztägigen Untersuchungen zwischen 0 und 10 Grad Celsius.

Für das Laufen wurden die zwischen den 15 Übungsstationen eines Trimpfpfades liegenden Laufphasen herangezogen. Die Untersuchung begann im Laboratorium mit einer Registrierung der Ruhewerte im Liegen. Unmittelbar vor Belastungsbeginn wurde jeweils zwei Minuten im Sitzen und im Stehen unter Vorstartbedingungen registriert. Der Trimpfpfad führte über eine Länge von 2300 m und wies eine Höhen-

differenz von 20 m auf. Nach Belastungsende folgten zwei Minuten langsames Gehen und weitere acht Minuten Stehen.

Als isometrische Belastung wurde eine der Skiabfahrtshaltung ähnliche Hocke gewählt, wobei die Knie um 90 Grad gebeugt wurden und der Körper aufrecht blieb. Diese Haltung wurde von den Probanden für die Dauer von 2 - 5 Minuten eingenommen.

Als geistige Belastung wurden Rechenaufgaben gewählt. Die Probanden mußten in einem Zeitraum von fünf Minuten möglichst viele der gestellten Aufgaben in den vier Grundrechenarten zu lösen versuchen.

2.2.3. Statistische Auswertung der Daten

Auf die Auswahl der verschiedenen Vergleichsgruppen zwischen alltäglichen und sportlichen Belastungen einerseits und der stufenweise ansteigenden Fahrradergometrie andererseits wurde bereits in Absatz 2.1. hingewiesen.

An Hand von Herzfrequenz bzw. systolischem Druckfrequenzprodukt wurden jeweils die den alltäglichen und sportlichen Belastungen nächstliegenden Ergometerbelastungen (Steigerung um 25 Watt in zweiminütigem Abstand) gegenübergestellt. Die hierdurch gewonnenen entsprechenden Ergometerbelastungen werden im folgenden in Watt/kg Körpergewicht angegeben.

Die statistische Auswertung umfaßte die Berechnung von Mittelwerten mit Streuung der Herzfrequenz, des systolischen, mittleren und diastolischen arteriellen Blutdruckes, des systolischen Druckfrequenzproduktes und des Quotienten aus Blutdruckamplitude und arteriellen Mitteldruck. Die Prüfung der Unterschiede zwischen den einzelnen alltäglichen und sportlichen Belastungen untereinander und gegenüber der jeweils an Hand der Herzfrequenz und des systolischen Druckfrequenzproduktes angenähert identischen Ergometerleistung erfolgte mit Hilfe des t-Tests für gepaarte Stichproben beim Treppensteigen und bei der isometrischen Belastung, sowie nach dem t-Test

für nichtverbundene Stichproben beim Vergleich der übrigen Belastungsarten mit der Ergometrie. Die Angaben der statistischen Signifikanzen gelten für sämtliche Tabellen und Abbildungen wie folgt:

- n.s.: Unterschied statistisch nicht signifikant
- $p < 0,05$: Unterschied statistisch schwach signifikant
- $p < 0,01$: Unterschied statistisch signifikant
- $p < 0,002$; $0,001$; $0,0001$: Unterschied statistisch hoch signifikant

3. Ergebnisse

3.1. Ruhewerte

Die Mittelwerte und Standardabweichungen von arteriellem Blutdruck, arteriellem Mitteldruck und Herzfrequenz zeigen bei allen Belastungsformen eine normotone und normofrequente Ausgangslage mit Ausnahme der unter Vorstartbedingungen im Stehen gemessenen Herzfrequenz beim Skifahren (Tabelle 2).

3.2. Treppensteigen (Abbildung 2a, 2b; Tabelle 3)

Beim Treppensteigen findet sich als Ausdruck der Volumenbelastung des Herzens ein Anstieg des systolischen arteriellen Blutdruckes um 16 mm Hg von 128 auf 144 mm Hg, ein mit 74 mm Hg unveränderter diastolischer arterieller Blutdruck und ein nur geringfügiger Anstieg des arteriellen

Belastung	F (Schl./min)	SAP (mmHg)	DAP (mmHg)	MAP (mmHg)
Ergometrie 1,16 ± 0,25 (W/kg KG) n = 30	126,4 ± 16,0	149,6 ± 16,9	84,4 ± 11,3	108,6 ± 11,3
Treppen- steigen n = 30	125,2 ± 15,4	144,2 ± 17,2	73,7 ± 8,1	99,5 ± 9,1
		n.s.	p < 0,0001	p < 0,002

Tabelle 3:

Systolischer arterieller (SAP) und diastolischer arterieller (DAP) Blutdruck, arterieller Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz (F) (Mittelwert und Standardabweichung) während des Treppensteigens und während der Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz mit Angabe der statistischen Unterschiede

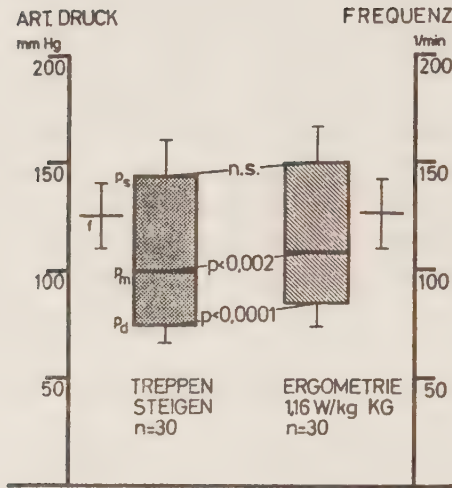


Abbildung 2a:

Schematische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen von arteriellem Blutdruck und Herzfrequenz während des Treppensteigens und während der Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz (ps: systol. Blutdruck, pm: arterieller Mitteldruck, pd: diastol. Blutdruck, f: Herzfrequenz)

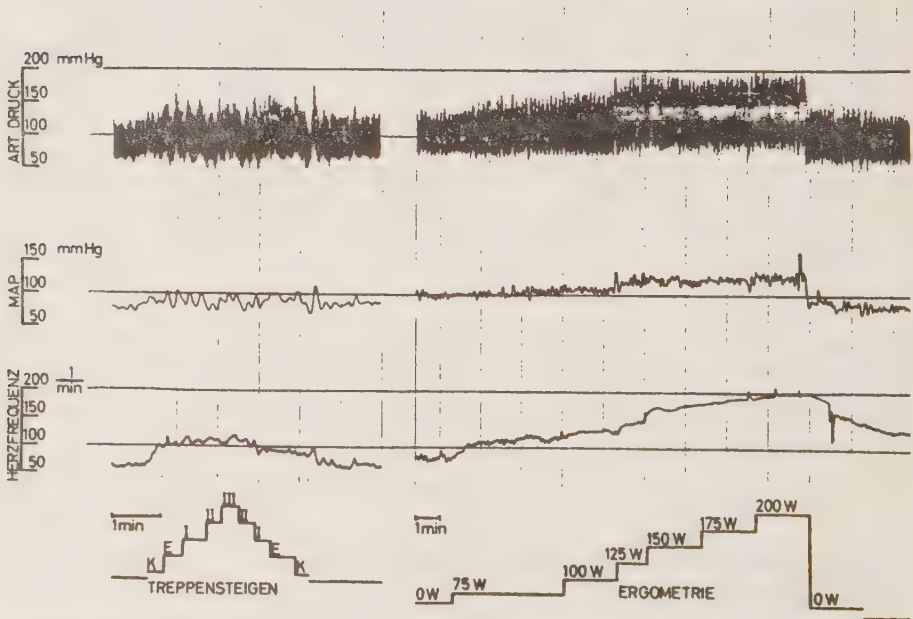


Abbildung 2b:

Originalregistrierung von arteriellem Blutdruck, integriertem arteriellen Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz bei einem 31-jährigen, herz- und kreislaufgesunden Mann während des Treppensteigens und während der stufenweisen ansteigenden, maximalen Fahrradergometrie

Mitteldruckes von 95 auf 100 mm Hg. Die Herzfrequenz steigt während des Treppensteigens von 71 auf 125 Schläge/min.

Im Vergleich mit den Werten der Ergometerbelastung, die eine dem Treppensteigen angenähert identische Herzfrequenz (126 Schläge/min) aufweist und einer Leistung von 1,16 W/kg Körpergewicht entspricht, zeigt sich, daß der systolische Blutdruck bei der Ergometrie geringfügig, statistisch jedoch nicht signifikant höher ist (150 mm Hg). Diastolischer Blutdruck (84 mm Hg) und arterieller Mitteldruck (109 mm Hg) unterscheiden sich statistisch hochsignifikant von den Blutdruckwerten während des Treppensteigens.

3.3. Skihocke (Abbildung 3, 4; Tabelle 4)

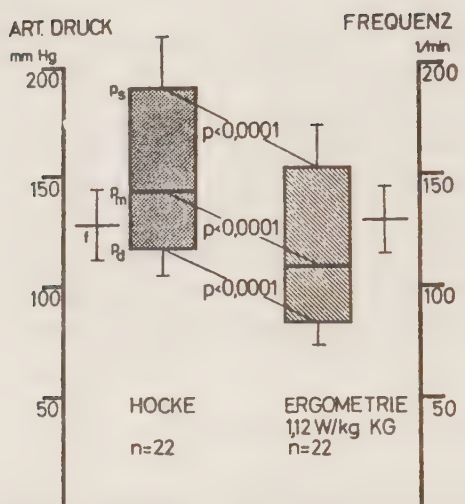
Bei der Skihocke als isometrischer Belastungsform findet sich das durch einen starken Anstieg sowohl des systolischen

Belastung	F (Schl./min)	SAP (mmHg)	DAP (mmHg)	MAP (mmHg)
Ergometrie 1,12 ± 0,25 (W/kg KG) n = 22	130,2 ± 15,3	153,5 ± 18,8	83,4 ± 10,0	108,7 ± 12,1
Skihocke n = 22	128,0 ± 15,7	190,1 ± 22,7	116,5 ± 12,2	143,3 ± 15,7
		p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001

Tabelle 4:

Systolischer arterieller (SAP) und diastolischer arterieller (DAP) Blutdruck, arterieller Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz (F) (Mittelwerte und Standardabweichung) während der isometrischen Belastung und während der Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz mit Angabe der statistischen Unterschiede

Abbildung 3:



Schematische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen von arteriellem Blutdruck und Herzfrequenz während isometrischer Belastung und während der Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz (ps: systol. Blutdruck, pm: arterieller Mitteldruck, pd: diastol. Blutdruck, f: Herzfrequenz)

Blutdruckes (von 133 auf 190 mm Hg), als auch des diastolischen Blutdruckes (von 75 auf 117 mm Hg), als auch des arteriellen Mitteldruckes (von 97 auf 143 mm Hg) gekennzeichnete, typische Blutdruckverhalten. Diese extrem hohen Druckwerte, vor allem des diastolischen Blutdruckes und des arteriellen Mitteldruckes, sind charakteristisch für die hochgradige Druckbelastung bei statischer Muskelarbeit. Die Herzfrequenz steigt während der isometrischen Belastung nur mäßig von 73 auf 128 Schläge/min an.

Verglichen mit der Ergometerbelastung, die die angenähert gleiche Herzfrequenz (130 Schläge/min) aufweist und einer Leistung von 1,12 W/kg Körpergewicht entspricht, zeigt sich, daß sowohl systolischer (154 mm Hg), als auch diastolischer (83 mm Hg) Blutdruck, als auch arterieller Mitteldruck (109 mm Hg) statistisch hochsignifikant unter den Blutdruckwerten der isometrischen Belastung liegen.

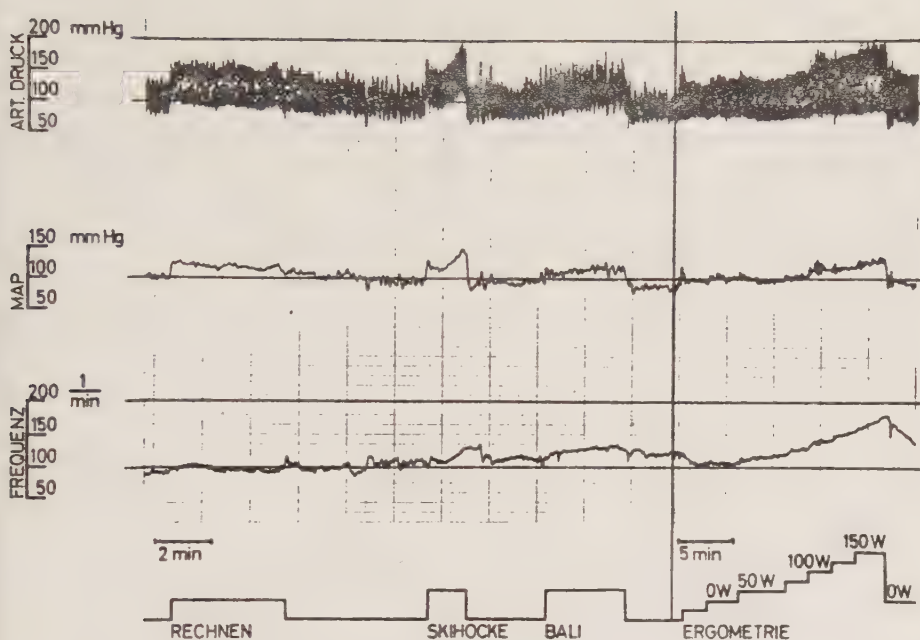


Abbildung 4:

Originalregistrierung von arteriellem Blutdruck, integriertem arteriellen Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz bei einem 32-jährigen, herz- und kreislaufgesunden Mann während mentaler Belastung (Rechnen), isometrischer Belastung (Skihocke und Bali-Übung) und während der Fahrradergometrie mit stufenweiser Belastung bis 150 Watt

3.4. Rudern (Abbildung 7)

3.4.1. Dauerrudern (Abbildung 5, Tabelle 5)

Beim einstündigen Dauerrudern steigt der systolische Blutdruck von 137 mm Hg unter Ruhebedingungen auf 156 mm Hg, der diastolische Blutdruck von 87 auf 100 mm Hg und der arterielle Mitteldruck von 105 auf 121 mm Hg. Dabei wird während dieser Dauerbelastung ein mittlerer Frequenzanstieg von 76 auf 146 Schläge/min erreicht.

Verglichen mit der Ergometerbelastung, die die angenähert

Belastung	F (Schl./min)	SAP (mmHg)	DAP (mmHg)	MAP (mmHg)
Ergometrie 1,44 ± 0,45 (W/kg KG) n = 15	146,5 ± 12,9	166,9 ± 14,0	92,0 ± 12,6	118,5 ± 11,9
Dauerrudern n = 10	146,3 ± 9,5	156,1 ± 13,6	100,0 ± 11,2	121,0 ± 12,7
		n.s.	n.s.	n.s.

Tabelle 5:

Systolischer arterieller (SAP) und diastolischer arterieller (DAP) Blutdruck, arterieller Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz (F) (Mittelwert und Standardabweichung) während des Dauerruderns und während der Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz mit Angabe der statistischen Unterschiede

gleiche Herzfrequenz (147 Schläge/min) aufweist und einer Leistung von 1,44 W/kg Körpergewicht entspricht, zeigen sich nur geringfügige, statistisch nicht signifikante Unterschiede. So ist der systolische Blutdruck bei der Ergometrie um 11 mm Hg (167 mm Hg) höher, der diastolische Blutdruck um 8 mm Hg (92 mm Hg) und der arterielle Mitteldruck um 2 mm Hg (119 mm Hg) niedriger.

3.4.2. Maximales Rudern (Abbildung 6, Tabelle 6)

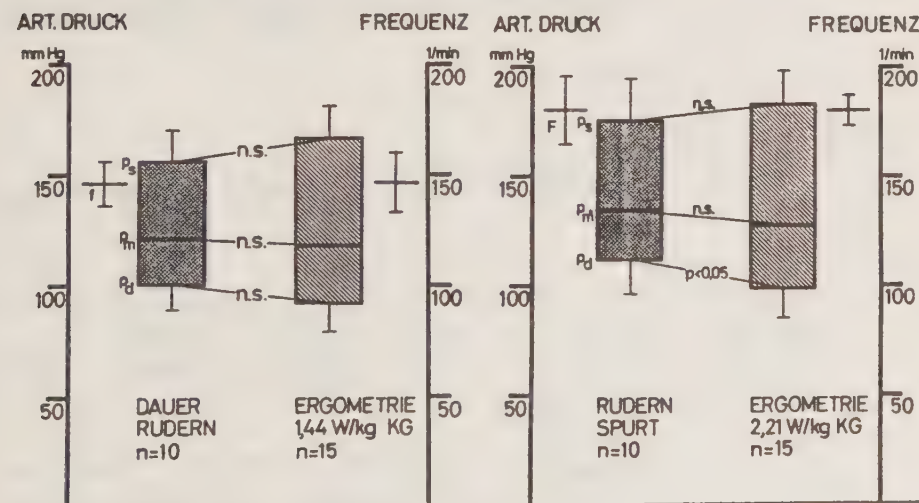
Während der Ruderzwischenstarts wird ein Anstieg der Herzfrequenz von 76 auf 180 Schläge/min erreicht. Der systolische Blutdruck steigt unter dieser Belastung von 137 auf 176 mm Hg, der diastolische Blutdruck von 87 auf 111 mm Hg und der arterielle Mitteldruck von 106 auf 135 mm Hg.

Die Ergometerbelastung, bei der diese Herzfrequenz er-

Belastung	F (Schl./min)	SAP (mmHg)	DAP (mmHg)	MAP (mmHg)
Ergometrie	179,6	183,1	98,0	127,3
2,21 ± 0,60 (W/kg KG)	± 15,5	± 14,8	± 13,2	± 13,1
n = 15				
Rudern	179,8	175,6	110,8	134,7
Spurt	± 15,5	± 18,9	± 15,1	± 16,0
n = 10				
		n.s.	p < 0,05	n.s.

Tabelle 6:

Systolischer arterieller (SAP) und diastolischer arterieller (DAP) Blutdruck, arterieller Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz (F) (Mittelwert und Standardabweichung) während der Ruderzwischenstarts und während der Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz mit Angabe der statistischen Unterschiede



Abbildungen 5 und 6:

Schematische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen von arteriellem Blutdruck und Herzfrequenz während des Ruderns (Dauerrudern und maximales Rudern) und während der Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz

reicht wird (180 Schläge/min), entspricht einer Leistung von 2,21 W/kg Körpergewicht. Dabei liegt der systolische Blutdruck bei der Fahrradergometrie mit 183 mm Hg um 7 mm Hg, statistisch allerdings nicht signifikant, höher, der diastolische Blutdruck mit 98 mm Hg um 12 mm Hg statistisch schwach signifikant niedriger. Der arterielle Mitteldruck ist mit 127 mm Hg um 8 mm Hg niedriger als bei den Ruderzwischenstopps, es ergibt sich jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied.

Anhand des Blutdruckprofils zeigt sich, daß gegenüber dem Dauerrudern während der Ruderzwischenstopps die statische Komponente mit überwiegender Druckbelastung, erkenntlich an den erheblich höheren Werten von diastolischem Blutdruck und arteriellem Mitteldruck, deutlich in den Vordergrund tritt.

RUDERN

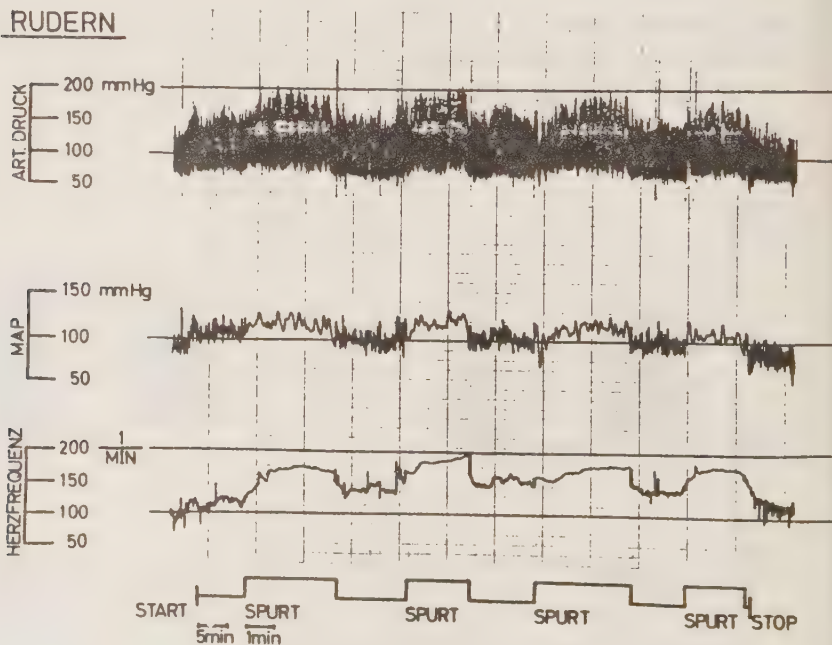
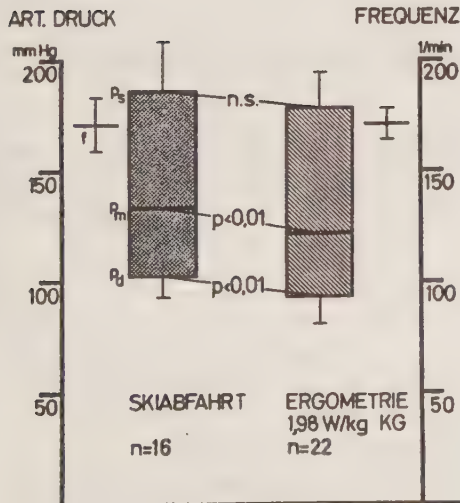
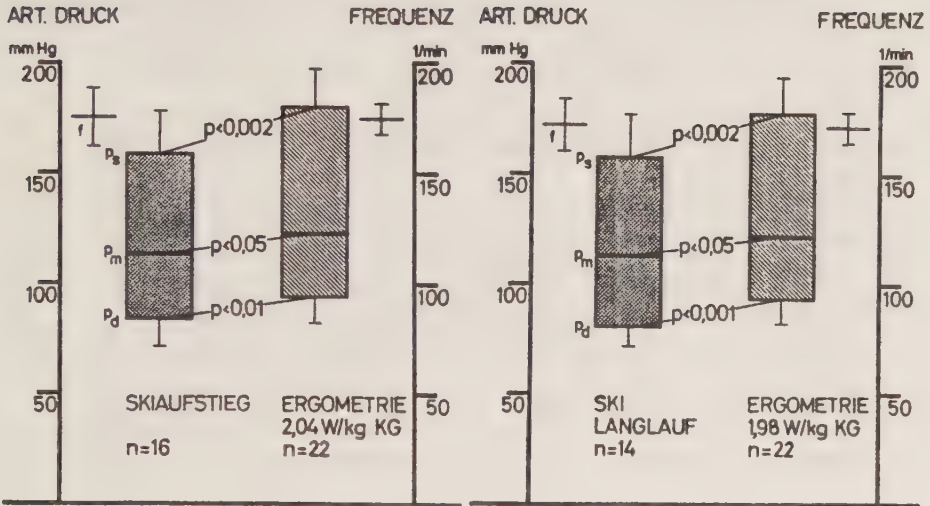


Abbildung 7:

Originalregistrierung von arteriellem Blutdruck, integriertem arteriellem Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz bei einem 25jährigen, herz- und kreislaufgesunden Mann während des einstündigen Ruderns, unterbrochen von vier Spurtphasen

3.5. Skilaufen



Abbildungen 8, 9 und 10:

Schematische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen von arteriellem Blutdruck und Herzfrequenz während des Skilaufens (Skiaufstieg, Skilanglauf, Skiabfahrt) und während der Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz (ps: systolischer Blutdruck, pm: arterieller Mitteldruck, pd: diastol. Blutdruck, f: Herzfrequenz)

3.5.1. Skiaufstieg (Abbildung 8, 11; Tabelle 7)

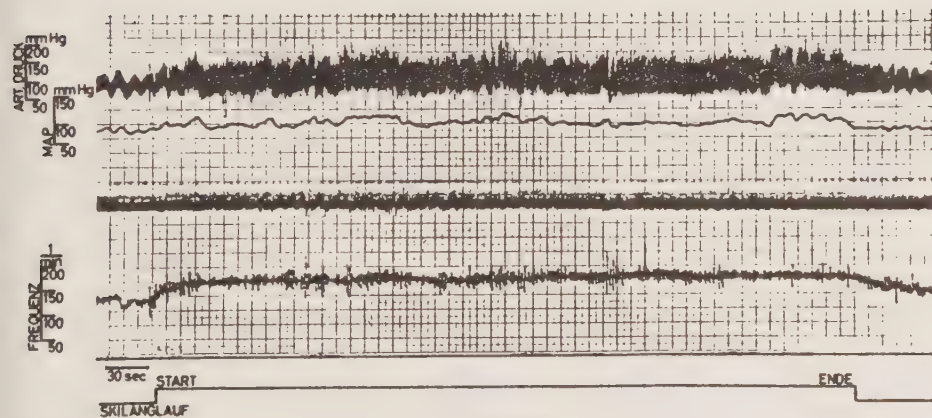
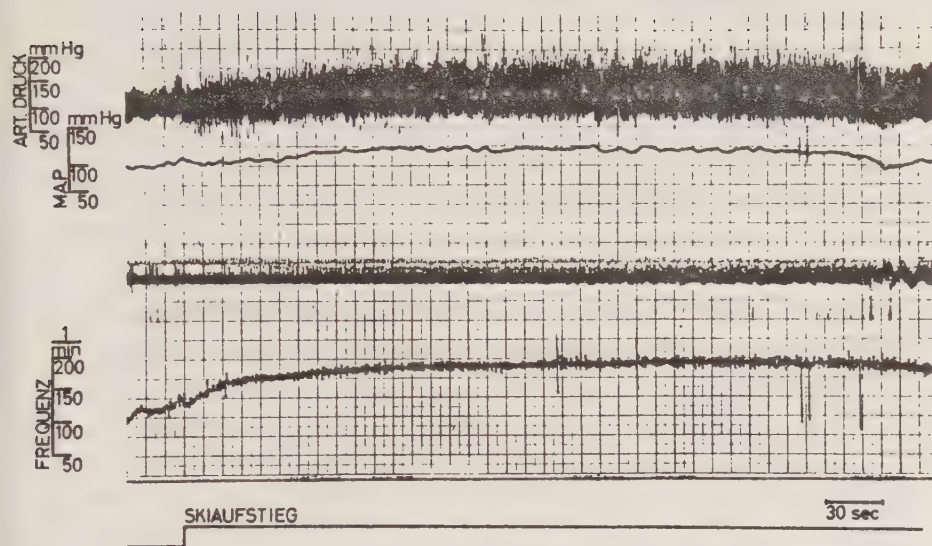
Der Skiaufstieg ist gekennzeichnet durch das Erreichen einer submaximalen Herzfrequenz, diese steigt von 100 Schlägen/min unter Vorstartbedingungen auf 176 Schläge/min während der Belastung an. Der Anstieg des systolischen Blutdruckes von 129 auf 159 mm Hg und des arteriellen Mitteldruckes von 100 auf 114 mm Hg ist nur mäßiggradig, während der diastolische Blutdruck mit 82 mm Hg unverändert bleibt.

Die Ergometerbelastung, die bei angenähert gleicher Herzfrequenz (175 Schläge/min) erreicht wird, entspricht einer Leistung von 2,04 W/kg Körpergewicht. Der dabei gemessene systolische Blutdruck liegt mit 180 mm Hg statistisch hochsignifikant, der diastolische Blutdruck mit 94 mm Hg statistisch signifikant und der arterielle Mitteldruck mit 123 mm Hg ebenfalls statistisch signifikant über dem jeweiligen Druckwert während des Skiaufstieges.

Belastung	F (Schl./min)	SAP (mmHg)	DAP (mmHg)	MAP (mmHg)
Ergometrie 2,04 ± 0,50 (W/kg KG) n = 22	174,8 ± 6,9	179,7 ± 16,8	93,5 ± 10,8	122,6 ± 11,5
Skiaufstieg n = 16	174,9 ± 13,0	159,2 ± 19,0	82,3 ± 11,9	113,5 ± 12,0
		p < 0,002	p < 0,01	p < 0,05

Tabelle 7:

Systolischer arterieller (SAP) und diastolischer arterieller (DAP) Blutdruck, arterieller Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz (F) (Mittelwert und Standardabweichung) während des Skiaufstieges und während der Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz mit Angabe der statistischen Unterschiede



Abbildungen 11 und 12:

Originalregistrierung von arteriellem Blutdruck, integriertem arteriellen Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz bei einem 24-jährigen, herz- und kreislaufgesunden Mann während des Skiaufstieges und während des Skilanglaufes

3.5.2. Skilanglauf (Abbildung 9, 12; Tabelle 8)

Der Skilanglauf zeigt ein nahezu gleiches hämodynamisches Reaktionsprofil wie der Skiaufstieg. Dem Anstieg des systolischen Blutdruckes von 131 mm Hg auf 158 mm Hg und dem ausschließlich dadurch bedingten Ansteigen des integrierten arteriellen Mitteldruckes von 103 mm Hg auf 113 mm Hg steht hier sogar ein diskreter Abfall des diastolischen Blutdruckes von 83 mm Hg auf 80 mm Hg gegenüber. Die Herzfrequenz steigt von 100 Schlägen/min unter Vorstartbedingungen auf 172 Schläge/min unter Belastung.

Auch im Vergleich mit der bei angenähert identischer Herzfrequenz (171 Schläge/min) erreichten Ergometerbelastung, die einer Leistung von 1,98 W/kg Körpergewicht entspricht, bestehen dem Skiaufstieg vergleichbare Verhältnisse. Systolischer Blutdruck mit 179 mm Hg und diastolischer Blutdruck mit 93 mm Hg unterscheiden

Belastung	F (Schl./min)	SAP (mmHg)	DAP (mmHg)	MAP (mmHg)
Ergometrie	171,3	178,3	95,0	122,0
1,98 ± 0,50 (W/kg KG)	± 6,8	± 15,9	± 11,0	± 11,6
n = 22				
Skilanglauf	171,9	157,6	80,2	112,6
n = 14	± 11,7	± 18,6	± 8,5	± 12,5
		p < 0,002	p < 0,001	p < 0,05

Tabelle 8:

Systolischer arterieller (SAP) und diastolischer arterieller (DAP) Blutdruck, arterieller Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz (F) (Mittelwert und Standardabweichung) während des Skilanglaufes und während der Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz mit Angabe der statistischen Unterschiede

sich statistisch hochsignifikant von den Blutdruckwerten beim Skilanglauf. Auch der arterielle Mitteldruck liegt mit 122 mm Hg deutlich, wenn auch nur statistisch schwachsignifikant, höher. Skilanglauf ist ebenso wie Skiaufstieg auf Grund des für eine Volumenhypertonie charakteristischen Blutdruck-Frequenz-Verhaltens in die Gruppe der dynamischen Belastungsformen einzuordnen.

3.5.3. Skiabfahrt (Abbildung 10, 13; Tabelle 9)

Anders als beim Skilanglauf und beim Skiaufstieg stellt sich die hämodynamische Situation während der Skiabfahrt dar. Der Anstieg der Herzfrequenz von 100 auf 171 Schläge/min auf submaximal erreichbare Werte ist dem Skilanglauf und dem Skiaufstieg gleichzusetzen. Der systolische und der diastolische arterielle Blutdruck steigen jedoch deutlich

Belastung	F (Schl./min)	SAP (mmHg)	DAP (mmHg)	MAP (mmHg)
Ergometrie 1,98 ± 0,50 (W/kg KG) n = 22	171,3 ± 6,8	178,3 ± 15,9	93,0 ± 11,0	122,0 ± 11,6
Skiabfahrt n = 16	171,2 ± 12,1	186,5 ± 21,7	102,3 ± 9,1	133,6 ± 12,0
		n.s.	p < 0,01	p < 0,01

Tabelle 9:

Systolischer arterieller (SAP) und diastolischer arterieller (DAP) Blutdruck, arterieller Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz (F) (Mittelwert und Standardabweichung) während der Skiabfahrt und während der Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz mit Angabe der statistischen Unterschiede

von 129 mm Hg bzw. 82 mm Hg unter Ruhebedingungen auf 187 mm Hg bzw. 102 mm Hg während der Belastung an, was eine starke Erhöhung des integrierten arteriellen Mitteldruckes von 101 mm Hg auf 134 mm Hg zur Folge hat. Verglichen mit der Ergometerbelastung, die die angenähert gleiche Herzfrequenz (171 Schläge/min) aufweist und einer Leistung von 1,98 W/kg Körpergewicht entspricht, zeigt sich, daß alle drei arteriellen Blutdruckwerte unter denen der Skiabfahrt liegen. Der systolische Blutdruck beträgt ohne statistisch signifikanten Unterschied 178 mm Hg, diastolischer Blutdruck mit 93 mm Hg und arterieller Mitteldruck mit 122 mm Hg dagegen sind statistisch signifikant niedriger. Als überwiegend statische Belastung unterscheidet sich das arterielle Blutdruckprofil

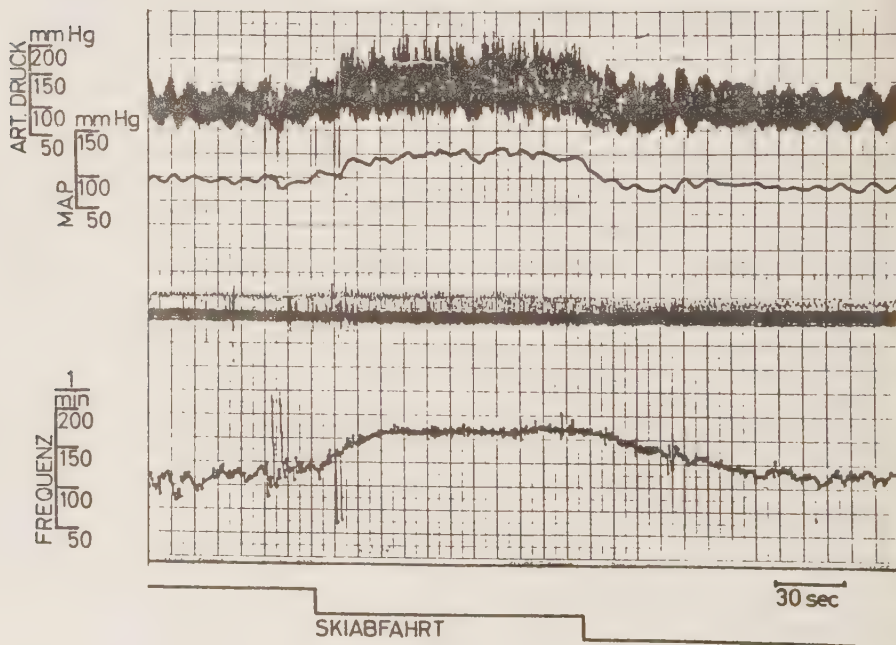


Abbildung 13:

Originalregistrierung von arteriellem Blutdruck, integriertem arteriellen Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz bei einem 24jährigen, herz- und kreislaufgesunden Mann während der Skiabfahrt

der Skiabfahrt durch ein wesentlich höheres Druckniveau von dem des Skilanglaufes und des Skiaufstieges, aber auch von dem der Fahrradergometrie bei angenähert gleicher Herzfrequenz.

3.6. Dauerlauf (Abbildung 14; Tabelle 10)

Der höchste Herzfrequenzanstieg aller untersuchten Belastungsformen von 75 auf 192 Schläge/min wird während des Dauerlaufes erzielt. Unter dieser Belastung bleiben die Blutdruckwerte erstaunlich niedrig. Der systolische Blutdruck steigt nur geringfügig von 138 mm Hg auf 151 mm Hg an. Der diastolische Blutdruck fällt, wie schon beim Skilanglauf beobachtet, während der Belastung sogar von 87 auf 78 mm Hg ab. Der Anstieg des arteriellen Mitteldruckes von 106 mm Hg auf 111 mm Hg ist ebenfalls nur geringfügig.

Belastung	F (Schl./min)	SAP (mmHg)	DAP (mmHg)	MAP (mmHg)
Ergometrie 2,54 ± 0,53 (W/kg KG) n = 15	190,1 ± 14,7	191,9 ± 18,7	101,6 ± 13,3	132,1 ± 14,0
Dauerlauf n = 8	192,4 ± 8,6	150,6 ± 13,4	78,8 ± 11,6	110,5 ± 15,0
		p < 0,0001	p < 0,001	p < 0,01

Tabelle 10:

Systolischer arterieller (SAP) und diastolischer arterieller (DAP) Blutdruck, arterieller Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz (F) (Mittelwert und Standardabweichung) während des Dauerlaufes und während der Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz mit Angabe der statistischen Unterschiede

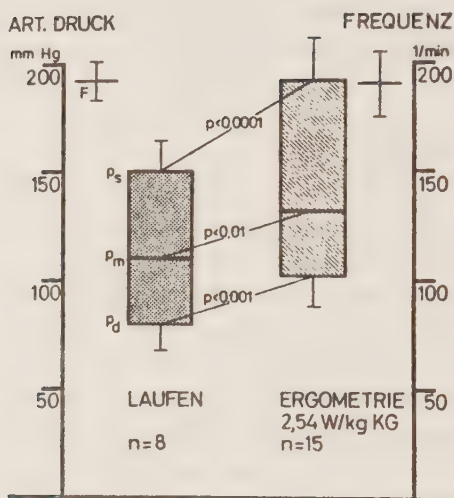


Abbildung 14:

Schematische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen von arteriellem Blutdruck und Herzfrequenz während des Dauerlaufes und während der Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz (ps: systol. Blutdruck, pm: arterieller Mitteldruck, pd: diastol. Blutdruck, F: Herzfrequenz)

Die von der angenähert identischen Herzfrequenz (190 Schläge/min) her vergleichbare Ergometerbelastung entspricht mit 2,54 W/kg Körpergewicht der maximalen Ergometerleistung. Der systolische Blutdruck mit 192 mm Hg und der diastolische Blutdruck mit 102 mm Hg während der maximalen Fahrradergometrie sind statistisch hochsignifikant, der arterielle Mitteldruck mit 132 mm Hg statistisch signifikant höher als die Blutdruckwerte während des Laufens. Der Dauerlauf als rein dynamische Belastungsform ist durch eine Volumenhypertonie infolge ausschließlicher Zunahme des systolischen Druckes gekennzeichnet. Beim Vergleich der Blutdruckprofile von Langlauf und Ergometrie wird trotz identischer, maximaler Herzfrequenz während des Langlaufs eine deutlich geringere Druckbelastung des großen Kreislaufs als während der Ergometrie erreicht.

3.7. Mentale Belastung (Abbildung 4, Tabelle 11)

Der arterielle Blutdruckanstieg während der geistigen Belastung in Form des Rechnens beträgt für den systolischen Blutdruck 16 mm Hg (von 134 mm Hg auf 150 mm Hg), für den

diastolischen Blutdruck ebenfalls 16 mm Hg (von 75 mm Hg auf 91 mm Hg) und für den arteriellen Mitteldruck 15 mm Hg (von 97 mm Hg auf 112 mm Hg). Die Herzfrequenz erhöht sich um 17 Schläge/min von 73 auf 90 Schläge/min. Auf einen Vergleich anhand angenähert identischer Herzfrequenzen zwischen Rechnen als mentaler und Fahrradergometrie als körperlicher Belastung wurde wegen des nur geringen Herzfrequenzanstieges verzichtet.

Geistige Belastung: Rechnen, n = 19				
	F (Schl./min.)	SAP (mmHg)	DAP (mmHg)	MAP (mmHg)
Ruhe	72,6 ± 9,2	133,9 ± 11,9	74,7 ± 7,5	96,6 ± 8,7
Belastung	90,0 ± 14,7	149,8 ± 17,8	90,8 ± 9,0	112,4 ± 11,3

Tabelle 11:

Systolischer arterieller (SAP) und diastolischer arterieller (DAP) Blutdruck, arterieller Mitteldruck (MAP) und Herzfrequenz (F) (Mittelwert und Standardabweichung) vor und während geistiger Belastung (Rechnen)

3.8. Arterieller Mitteldruck - Vergleich der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen mit der Fahrradergometrie (Abbildung 15, Tabelle 12)

Die arteriellen Mitteldrucke der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen und der Ergometerbelastungen bei jeweils angenähert identischer Herzfrequenz werden durch Bildung der arteriellen Mitteldruckdifferenzen miteinander verglichen. Sie liegen beim Treppensteigen um 9 mm Hg statistisch hochsignifikant, beim Skilanglauf und beim Skiaufstieg beide Male ebenfalls um 9 mm Hg statistisch schwach signifikant und beim Dauerlauf um 14 mm Hg statistisch signifikant niedriger als bei der entsprechenden Ergometerbelastung.

Bei allen übrigen Belastungen ist der arterielle Mitteldruck höher als der der zugehörigen Ergometerbelastung. Und zwar ist der Unterschied beim Dauerrudern 2 mm Hg, bei den Ruderzwichenspurts 8 mm Hg, in beiden Fällen jedoch ohne statistische Signifikanz, bei der Skihocke statistisch hochsignifikant 34 mm Hg und bei der Skiabfahrt statistisch signifikant 14 mm Hg.

Die Ergebnisse lassen erkennen, daß die dynamischen körperlichen Belastungen (Treppensteigen, Skilanglauf, Skiaufstieg und Dauerlauf) alle einen niedrigeren, die kombiniert dynamisch-statischen oder rein isometrischen Belastungen (Dauerrudern, Ruderzwichenspurts, Skihocke und Skiabfahrt) alle einen höheren arteriellen Mitteldruck besitzen als die von der angenähert gleichen Herzfrequenz her verglichenen Ergometerbelastungen.

Belastung	MAP (mmHg)	Differenz: MAP-Bel. - MAP-Ergom. (mmHg)	
Dauerlauf Ergometrie	110,5 ± 15,0 132,1 ± 14,0	- 21,6	p < 0,01
Skilanglauf Ergometrie	112,6 ± 12,5 122,0 ± 11,6	- 9,4	p < 0,05
Skiaufstieg Ergometrie	113,5 ± 12,0 122,6 ± 11,5	- 9,1	p < 0,05
Treppensteigen Ergometrie	99,5 ± 9,1 108,6 ± 11,3	- 9,1	p < 0,002
Dauerrudern Ergometrie	121,0 ± 12,7 118,5 ± 11,9	+ 2,5	n.s.
Rudern-Spurt Ergometrie	134,7 ± 16,0 127,3 ± 13,1	+ 7,4	n.s.
Skiabfahrt Ergometrie	133,6 ± 12,0 122,0 ± 11,6	+ 13,6	p < 0,01
Skihocke Ergometrie	143,3 ± 15,7 108,7 ± 12,1	+ 34,6	p < 0,0001

Tabelle 12:

Vergleich der arteriellen Mitteldrucke (MAP) (Mittelwert und Standardabweichung) der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen mit den Ergometerbelastungen bei jeweils angenähert identischer Herzfrequenz durch Bildung der arteriellen Mitteldruckdifferenzen (mit Angabe der statistischen Unterschiede)

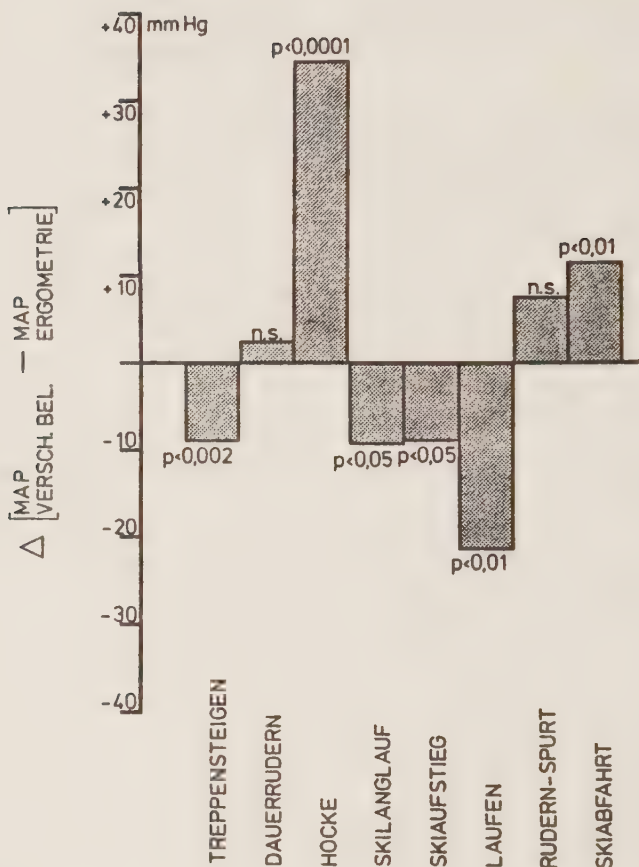


Abbildung 15:

Schematische Darstellung der arteriellen Mitteldruckdifferenzen zwischen den verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen und den Ergometerbelastungen bei jeweils angenähert identischer Herzfrequenz mit Angabe der statistischen Unterschiede. Alle dynamischen Belastungen zeigen niedrigere arterielle Mitteldrucke (nach unten gerichtete Kästchen), alle kombiniert dynamisch-statischen oder rein isometrischen Belastungen höhere arterielle Mitteldrucke (nach oben gerichtete Kästchen) als die ihnen zugeordneten Ergometerbelastungen

3.9. Quotient aus arterieller Blutdruckamplitude und arteriellem Mitteldruck - Vergleich der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen mit der Fahrradergometrie (Abbildung 16, 17; Tabelle 13, 14)

Der Quotient aus arterieller Blutdruckamplitude und arteriellem Mitteldruck erlaubt eine Aussage über das Verhältnis von Volumenbelastung zu Druckbelastung des Kreislaufes. Das Korrelat der Volumenbelastung ist dabei die Blutdruckamplitude, das der wesentlich unökonomischeren Druckbelastung der arterielle Mitteldruck.

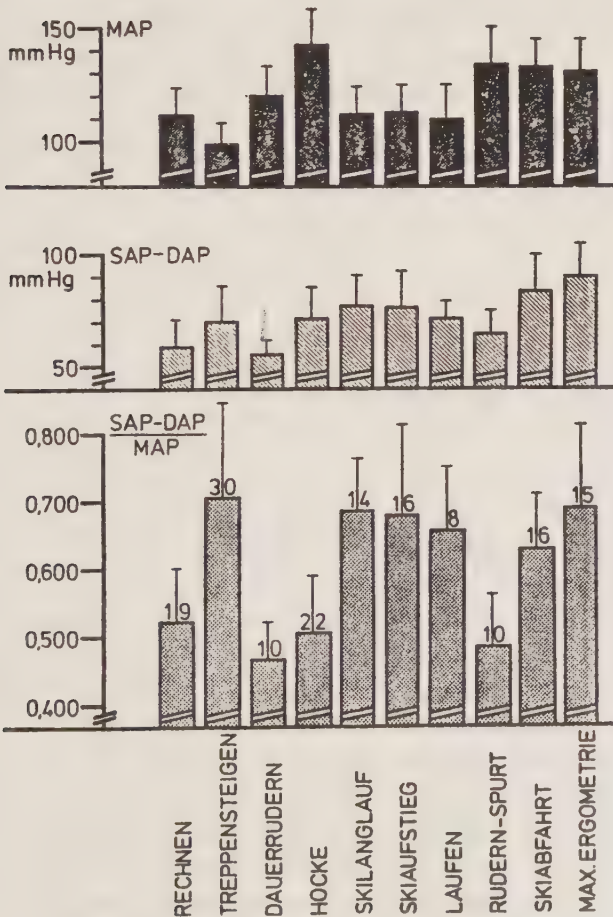


Abbildung 16:
Schematische Darstellung von arteriellem Mitteldruck (MAP), Blutdruckamplitude (SAP - DAP) und des Quotienten aus Blutdruckamplitude und arteriellem Mitteldruck (SAP-DAP)/MAP der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen und der maximalen Ergometerbelastung (Mittelwert und Standardabweichung)

Die Blutdruckamplituden betragen in abnehmender Folge bei der maximalen Ergometerbelastung 90 mm Hg, bei der Skiabfahrt 84 mm Hg, beim Skiaufstieg und beim Skilanglauf je 77 mm Hg, bei der Skihocke und beim Dauerlauf je 72 mm Hg, beim Treppensteigen 71 mm Hg, bei den Ruderzwischenstarts 65 mm Hg, beim Rechnen 59 mm Hg und beim Dauerrudern 56 mm Hg.

Die arteriellen Mitteldrucke sind am höchsten bei den rein isometrischen und kombiniert dynamisch-statischen Belastungen. Bei der Skihocke beträgt der arterielle Mitteldruck 143 mm Hg, bei den Ruderzwischenstarts 135 mm Hg, bei der Skiabfahrt 134 mm Hg, bei der maximalen Ergometerbelastung 132 mm Hg und beim Dauerrudern immerhin noch 121 mm Hg. Wesentlich niedriger sind die Werte bei den dynamischen Belastungen (Skiaufstieg 114 mm Hg, Skilanglauf 113 mm Hg, Dauerlauf 111 mm Hg und Treppensteigen 100 mm Hg). Unter geistiger Belastung wird ein arterieller Mitteldruck von 112 mm Hg erreicht.

Als Zeichen der Überwiegenden Volumenbelastung des Kreislaufes besitzen alle dynamischen Übungen (Dauerlauf 0,66, Skiaufstieg 0,68, Skilanglauf 0,69 und Treppensteigen 0,71) hohe Quotienten mit Werten zwischen 0,66 und 0,71. Sie bilden damit eine in sich geschlossene Gruppe, deren gemeinsame hämodynamische Reaktionsweise durch eine große Blutdruckamplitude bei nur mäßigem arteriellem Mitteldruckanstieg gekennzeichnet ist. Die vor allem durch hohe arterielle Mitteldrucke bedingten niedrigen Quotienten der rein isometrischen und kombiniert dynamisch-statischen Übungen (Skiabfahrt 0,63, Skihocke 0,51, Ruderzwischenstarts 0,49, Dauerrudern 0,47) charakterisieren die überwiegende Druckbelastung des Kreislaufes. Bei der maximalen Ergometerbelastung liegt der Quotient trotz eines hohen arteriellen Mitteldruckes wegen der sehr großen Blutdruckamplitude mit 0,69 deutlich über allen anderen dynamisch-statischen Belastungen.

Der Vergleich der Blutdruckamplituden-Mitteldruck-Quotienten zwischen den verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen und den Ergometerbelastungen bei jeweils annähernd identischer Herzfrequenz zeigt, daß die rein iso-

Belastung	(SAP-DAP) (mmHg)	MAP (mmHg)	(SAP-DAP)/MAP
Treppensteigen	70,5 ± 15,6	99,5 ± 9,1	0,71 ± 0,14
Ergometrie	65,2 ± 13,5	108,6 ± 11,3	0,60 ± 0,12
Skilanglauf	77,4 ± 13,3	112,6 ± 12,5	0,69 ± 0,08
Ergometrie	85,3 ± 14,3	122,0 ± 11,6	0,71 ± 0,13
Skiaufstieg	76,9 ± 15,6	113,5 ± 12,0	0,68 ± 0,13
Ergometrie	86,2 ± 15,1	122,6 ± 11,5	0,71 ± 0,13
Dauerlauf	71,8 ± 7,1	110,5 ± 15,0	0,66 ± 0,10
Ergometrie	90,3 ± 14,1	132,1 ± 14,0	0,69 ± 0,12
Skiabfahrt	84,2 ± 16,1	133,6 ± 12,0	0,63 ± 0,08
Ergometrie	85,3 ± 14,3	122,0 ± 11,6	0,71 ± 0,13
Skihocke	71,9 ± 13,6	143,3 ± 15,7	0,51 ± 0,08
Ergometrie	71,9 ± 10,7	108,7 ± 12,1	0,65 ± 0,07
Rudern-Spurt	64,8 ± 10,2	134,7 ± 16,0	0,49 ± 0,08
Ergometrie	85,1 ± 13,6	127,3 ± 13,1	0,68 ± 0,13
Dauerrudern	56,1 ± 6,1	121,0 ± 12,7	0,47 ± 0,06
Ergometrie	74,9 ± 12,2	118,5 ± 11,9	0,64 ± 0,13
Rechnen	58,9 ± 11,8	112,4 ± 11,3	0,52 ± 0,08

Tabelle 13:

Arterielle Blutdruckamplitude (SAP - DAP), arterieller Mitteldruck (MAP) und Quotient aus Blutdruckamplitude und arteriellem Mitteldruck (SAP - DAP)/MAP (Mittelwert und Standardabweichung) der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen und der Ergometerbelastungen bei jeweils angenähert identischer Herzfrequenz

Belastung	(SAP-DAP)/MAP	Differenz	
Treppensteigen	$0,71 \pm 0,14$	+ 0,11	$p < 0,01$
Ergometrie	$0,60 \pm 0,12$		
Skilanglauf	$0,69 \pm 0,08$	- 0,02	n.s.
Ergometrie	$0,71 \pm 0,13$		
Skiaufstieg	$0,68 \pm 0,13$	- 0,03	n.s.
Ergometrie	$0,71 \pm 0,13$		
Dauerlauf	$0,66 \pm 0,10$	- 0,03	n.s.
Ergometrie	$0,69 \pm 0,12$		
Skiabfahrt	$0,63 \pm 0,08$	- 0,08	$p < 0,05$
Ergometrie	$0,71 \pm 0,13$		
Skihocke	$0,51 \pm 0,08$	- 0,14	$p < 0,0001$
Ergometrie	$0,65 \pm 0,07$		
Dauerrudern	$0,47 \pm 0,06$	- 0,17	$p < 0,001$
Ergometrie	$0,64 \pm 0,13$		
Rudern-Spurt	$0,49 \pm 0,08$	- 0,19	$p < 0,001$
Ergometrie	$0,68 \pm 0,13$		

Tabelle 14:

Vergleich der Quotienten aus Blutdruckamplitude und arteriellem Mitteldruck (SAP - DAP)/MAP (Mittelwert und Standardabweichung) der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen mit den Ergometerbelastungen bei jeweils angenähert identischer Herzfrequenz durch Bildung der Quotientendifferenzen (mit Angabe der statistischen Unterschiede)

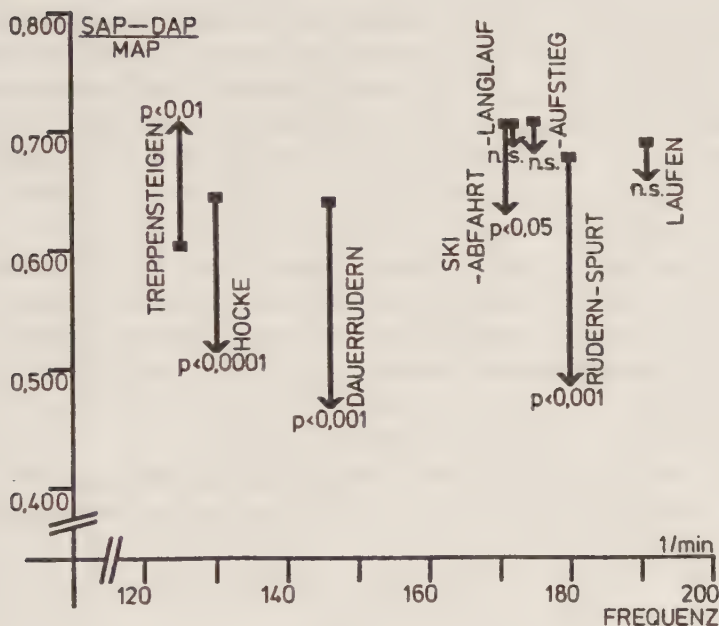


Abb. 17:

Schematische Darstellung der Differenzen der Quotienten aus Blutdruckamplitude und arteriellem Mitteldruck zwischen den verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen (Pfeilspitzen) und den Ergometerbelastungen bei jeweils angenähert identischer Herzfrequenz (schwarze Kästchen) mit Angabe der statistischen Unterschiede. Nur beim Treppensteigen als Ausdruck der nahezu ausschließlichen Volumenbelastung ein statistisch signifikant höherer Quotient als bei der entsprechenden Ergometerbelastung (nach oben gerichteter Pfeil); im Vergleich zur Fahrradergometrie niedrigere Werte bei allen anderen Belastungen (nach unten gerichtete Pfeile). Dabei ist zu differenzieren zwischen den dynamischen Belastungen (Skilanglauf, Skiaufstieg und Dauerlauf) bei submaximaler bis maximaler Herzfrequenz, die sich nur minimal von der Fahrradergometrie unterscheiden und den rein isometrischen (Skihocke) bzw. kombiniert dynamisch-statischen Übungen (Dauerrudern, Ruderschwingspurts und Skiabfahrt), die als Kennzeichen überwiegender Druckbelastung des Kreislaufes hohe und statistisch signifikante Unterschiede aufweisen

metrischen und kombiniert dynamisch-statischen Belastungen erheblich und in allen Fällen statistisch signifikant unter denen der Fahrradergometrie liegen. Sie verursachen also im Vergleich zur Fahrradergometrie eine wesentlich höhere Druckbelastung des Kreislaufes. Die Differenzen betragen für die Skiabfahrt - 0,08, für die Skihocke - 0,14, für das Dauerrudern - 0,17 und für die Ruderswischenspurts - 0,19.

Die dynamischen Belastungen unterscheiden sich für submaximale und maximale Herzfrequenzen (170 bis 190 Schläge/min) nur minimal und statistisch nicht signifikant von den zugehörigen Ergometerbelastungen (Skilanglauf - 0,02, Skiaufstieg - 0,03 und Dauerlauf - 0,04). Nur beim Treppensteigen, der mit dem geringsten Frequenzanstieg einhergehenden körperlichen Belastung, ist als Ausdruck der nahezu ausschließlichen Volumenbelastung des Kreislaufes der Quotient statistisch signifikant höher (+ 0,11) als bei der von der Herzfrequenz her angenähert gleichen Ergometerbelastung.

3.10. Systolisches Druckfrequenzprodukt - Vergleich der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen mit der Fahrradergometrie (Abbildung 18, 19; Tabelle 15, 16)

Ein zuverlässiger Indikator für den Sauerstoffverbrauch des Herzens und damit für die kardiale Belastung ist das Produkt aus systolischem arteriellen Blutdruck und Herzfrequenz (Angabe des systolischen Druckfrequenzproduktes in 100 mm Hg/min).

Ausgehend von einem Ruhewert von 97 ergibt sich bereits bei mentaler Belastung ein Anstieg auf 135 und damit ein, gemessen an körperlichen Belastungen allerdings nur geringer, myokardialer Sauerstoffmehrverbrauch. Beim Treppensteigen, der mit dem geringsten Frequenzanstieg einhergehenden körperlichen Belastung, steigt das systolische Druckfrequenzprodukt bereits auf 182. Das Dauerrudern befindet sich mit 229 noch im unteren Drittel der untersuchten Belastungsarten. Der myokardiale Be-

lastungsindex für die rein isometrische Skihocke beträgt trotz des nur mäßigen Frequenzanstieges auf 128 Schläge/min, vergleichbar der ermittelten Herzfrequenz während des Treppensteigens, infolge des enormen Blutdruckanstieges immerhin 243. Es folgt eine homogene Gruppe aus drei dynamischen Belastungsformen, die Werte zwischen 270 und 290 aufweist (Skilanglauf 272, Skiaufstieg 279 und Dauerlauf 290). Charakteristischerweise resultieren die systolischen Druckfrequenzprodukte dieser Gruppe alle aus einem verhältnismäßig niedrigen systolischen Blutdruck (150 bis 160 mm Hg) und einer hohen, submaximalen bis maximalen Herzfrequenz (170 bis 190 Schläge/min).

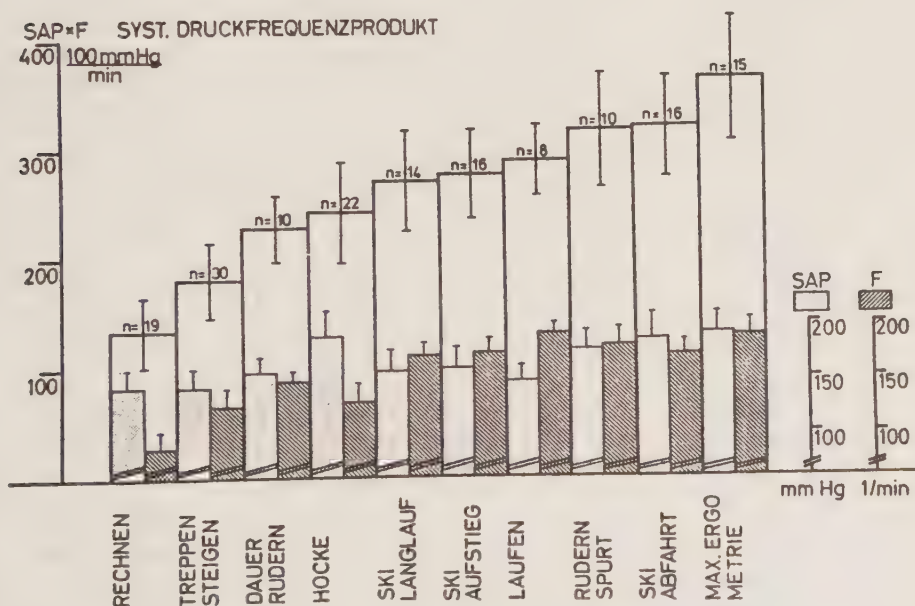


Abbildung 18:

Schematische Darstellung von systolischem arteriellen Blutdruck (SAP), Herzfrequenz (F) und systolischem Druckfrequenzprodukt (SAP x F) der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen und der maximalen Ergometerbelastung (Mittelwert und Standardabweichung)

Belastung	SAP (mmHg)	F (Schl./min)	SAP x F (100 mmHg/min)
Rechnen	149,8 ± 17,8	90,0 ± 14,7	134,8 ± 32,3
Treppensteigen	144,2 ± 17,2	125,2 ± 15,4	181,6 ± 34,2
Ergometrie	149,6 ± 16,9	126,4 ± 16,0	190,3 ± 40,4
Dauerrudern	156,1 ± 13,6	146,3 ± 9,5	228,9 ± 29,6
Ergometrie	166,9 ± 14,0	146,5 ± 12,9	245,1 ± 35,2
Skihocke	190,1 ± 22,7	128,0 ± 15,7	243,3 ± 45,8
Ergometrie	153,5 ± 18,8	130,2 ± 15,3	199,9 ± 43,7
Skilanglauf	157,6 ± 18,6	171,9 ± 11,7	272,0 ± 45,5
Ergometrie	178,3 ± 15,9	171,3 ± 6,8	305,5 ± 29,7
Skiaufstieg	159,2 ± 19,0	174,9 ± 13,0	278,5 ± 40,2
Ergometrie	179,7 ± 16,8	174,8 ± 6,9	314,1 ± 31,5
Dauerlauf	150,6 ± 13,4	192,4 ± 8,6	289,8 ± 31,6
Ergometrie	191,9 ± 18,7	190,1 ± 14,7	364,7 ± 56,3
Rudern-Spurt	175,6 ± 18,9	179,8 ± 15,5	317,5 ± 51,7
Ergometrie	183,1 ± 14,8	179,6 ± 6,9	328,9 ± 30,7
Skiabfahrt	186,5 ± 21,7	171,2 ± 12,1	319,7 ± 45,3
Ergometrie	178,5 ± 15,9	171,3 ± 6,8	305,5 ± 29,7

Tabelle 15:

Systolischer arterieller Blutdruck (SAP), Herzfrequenz (F) und systolisches Druckfrequenzprodukt (SAP x F) (Mittelwert und Standardabweichung) der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen und der Ergometerbelastungen bei jeweils angenähert identischer Herzfrequenz

Belastung	SAP x F (100 mmHg/min.)	Differenz (100 mmHg/min.)	
Dauerlauf Ergometrie	289,8 ± 31,6 364,7 ± 56,3	- 74,9	p < 0,01
Skiaufstieg Ergometrie	278,5 ± 40,2 314,1 ± 31,5	- 35,6	p < 0,01
Skilanglauf Ergometrie	272,0 ± 45,5 305,5 ± 29,7	- 33,5	p < 0,02
Dauerrudern Ergometrie	228,9 ± 29,6 245,1 ± 35,2	- 16,2	n.s.
Rudern-Spurt Ergometrie	317,5 ± 51,7 328,9 ± 30,7	- 11,4	n.s.
Treppensteigen Ergometrie	181,6 ± 34,2 190,3 ± 40,4	- 8,7	n.s.
Skiabfahrt Ergometrie	319,7 ± 45,3 305,5 ± 29,7	+ 14,2	n.s.
Skihocke Ergometrie	243,3 ± 45,8 199,9 ± 43,7	+ 43,4	p < 0,02

Tabelle 16:

Vergleich der systolischen Druckfrequenzprodukte (SAP x F) (Mittelwert und Standardabweichung) der verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen mit den Ergometerbelastungen bei jeweils angenähert identischer Herzfrequenz durch Bildung der systolischen Druckfrequenzproduktendifferenzen (mit Angabe der statistischen Unterschiede)

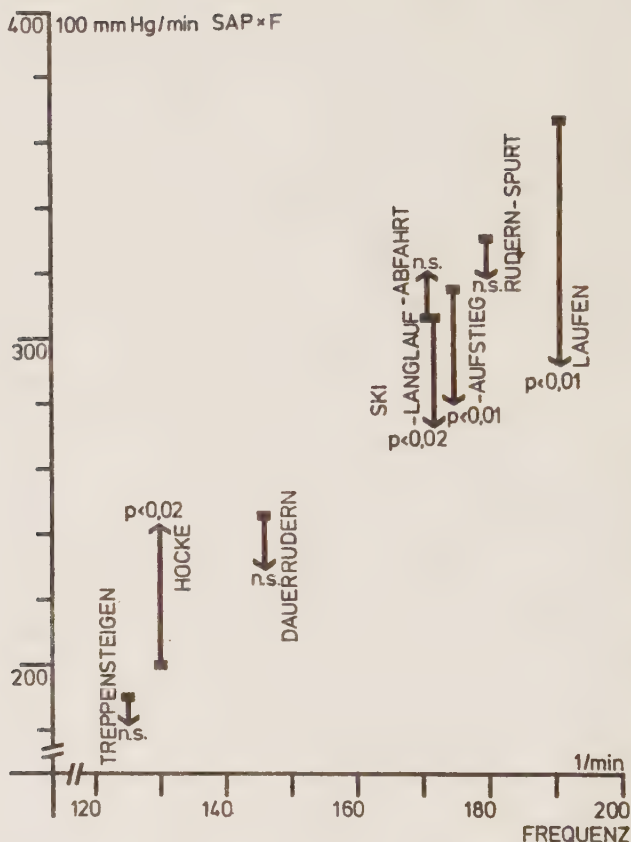


Abbildung 19:

Schematische Darstellung der systolischen Druckfrequenzprodukt-differenzen zwischen den verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen (Pfeilspitzen) und den Ergometerbelastungen bei jeweils angenähert identischer Herzfrequenz (schwarze Kästchen) mit Angabe der statistischen Unterschiede. Die dynamischen Belastungen haben, mit Ausnahme des Treppensteigens, statistisch signifikant niedrigere systolische Blutdruckfrequenzprodukte (nach unten gerichtete Pfeile). Nur die rein isometrische Skihocke besitzt ein statistisch signifikant höheres systolisches Druckfrequenzprodukt (nach oben gerichteter Pfeil); nur geringe Unterschiede der übrigen, kombiniert dynamisch-statischen Belastungen gegenüber den zugeordneten Ergometerbelastungen

Ähnlich starke Frequenzanstiege über 170 Schläge/min werden bei den nächsten beiden, kombiniert dynamisch-statischen Belastungen, den Ruderzwischenstarts und der Skiabfahrt, gemessen. Zusammen mit dem erheblichen Blutdruckanstieg auf systolische Werte über 175 mm Hg ergeben sich für die Ruderzwischenstarts und für die Skiabfahrt hohe Belastungsindices von 318 bzw. 320. Der höchste Wert aller untersuchten Belastungen mit 365 wird bei der maximalen Fahrradergometrie (2,54 W/kg Körpergewicht) erreicht. Eine Herzfrequenz von über 190 Schlägen/min und ein systolischer arterieller Blutdruck von über 190 mm Hg bedingen dieses extrem hohe systolische Druckfrequenzprodukt.

Beim Vergleich der systolischen Druckfrequenzprodukte zwischen den verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen und den Ergometerbelastungen bei jeweils angenähert gleicher Herzfrequenz zeigt sich, daß die Werte aller dynamischen Übungen (Treppensteigen, Skilanglauf, Skiaufstieg und Dauerlauf) statistisch signifikant, ausgenommen das Treppensteigen, unter denen der Fahrradergometrie liegen. Das bedeutet, daß bei identischer Herzfrequenz die dynamischen Belastungen einen geringeren myokardialen Sauerstoffverbrauch induzieren als die entsprechenden Ergometerbelastungen. Die Unterschiede betragen für das Treppensteigen - 9, für den Skilanglauf - 34, den Skiaufstieg - 36 und den Dauerlauf - 75 Einheiten.

Bei der rein isometrischen Belastung, der Skihocke, findet sich umgekehrt ein höherer myokardialer Sauerstoffverbrauch, gekennzeichnet durch einen statistisch signifikant höheren Belastungsindex, der Unterschied beträgt + 43. Weniger eindeutig ist der Vergleich der kombiniert dynamisch-statischen Belastungen mit der Fahrradergometrie. Als Ausdruck für den etwa gleichen myokardialen Sauerstoffverbrauch ergeben sich nur geringe, statistisch nicht signifikante Unterschiede in beide Richtungen. Die Differenzen betragen + 14 für die Skiabfahrt, - 11 für die Ruderzwischenstarts und - 16 für das Dauerrudern.

4. Diskussion

Die Resultate der telemetrischen Registrierung des arteriellen Blutdruckes bei verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen geben einen Einblick in die durch Laboruntersuchungen nicht erfaßbare, differenzierte hämodynamische Reaktionsweise. Die Untersuchungen zeigen vor allem, daß eine alleinige Bewertung der Herzfrequenz nicht genügt, die tatsächliche kardiovaskuläre Belastung zu repräsentieren. In unseren Untersuchungen wurden nicht nur die beiden bekannten, in polarem Gegensatz zueinander stehenden rein dynamischen und rein isometrischen Muskelbelastungen in ihrer Auswirkung auf das Frequenz- und Blutdruckprofil bestätigt, es konnte auch die "Grauzone" der Mischformen, aus denen sich die alltäglichen und meisten sportlichen Belastungen zusammensetzen, analysiert werden. Von besonderer Bedeutung im Hinblick auf Patienten mit Einschränkung der kardiovaskulären Leistungsbreite ist die Messung repräsentativer Werte des systolischen Druckfrequenzproduktes für diese verschiedenartigen Belastungsformen.

In der praktischen Interpretation der Resultate hat einerseits die Herzfrequenz als "trainingswirksamer" Parameter und andererseits das systolische Druckfrequenzprodukt als "belastungslimitierender" Faktor Berücksichtigung zu finden. Vom Standpunkt der Trainingseffektivität werden Belastungen mit möglichst hoher Dauerherzfrequenz gefordert, während das systolische Druckfrequenzprodukt, das in enger Korrelation zum myokardialen Sauerstoffbedarf steht, bei eingeschränkter Koronarreserve nur dann eine optimale Trainingssteigerung zuläßt, wenn die systolische Druckbelastung des Herzens möglichst gering bleibt (13, 24, 36, 37, 38, 41, 54, 57, 58, 67).

Die Ordnung der einzelnen untersuchten Belastungsarten in der Reihenfolge ansteigender Herzfrequenz (Tabelle 17) zeigt, daß Treppensteigen und isometrische Belastung in Form der Skihocke einer praktisch identischen, adäquaten Ergometerleistung von 1,16 bzw. 1,12 W/kg Körpergewicht

mit entsprechend ähnlichen Herzfrequenzen von 126 Schlägen/min bzw. 130 Schlägen/min gleichkommen. Dieses Resultat steht selbstverständlich im Widerspruch zu der subjektiv empfundenen Belastungsintensität, da die isometrische Belastung grundsätzlich bis zur muskulären Erschöpfung durchgeführt wurde.

Gehen wir von der Herzfrequenz aus, läßt sich außer den beiden genannten Belastungsformen nur noch das Dauerrudern als mittelgradige Belastung von durchschnittlich 1,44 W/kg Körpergewicht identifizieren. Die übrigen sportlichen Belastungen führen zu submaximalen bis maximalen Herzfrequenzen und erfordern damit auch ein leistungsfähiges kardiopulmonales System.

Belastung	Frequenz (Schl./min)	Ergometerleistung (W/kg KG) bei F (Schl./min)	
Treppensteigen	125 $\pm$ 15	1,16 $\pm$ 0,25	126 $\pm$ 16
Skihocke	128 $\pm$ 16	1,12 $\pm$ 0,25	130 $\pm$ 15
Dauerrudern	146 $\pm$ 10	1,44 $\pm$ 0,45	147 $\pm$ 13
Skiabfahrt	171 $\pm$ 12	1,98 $\pm$ 0,50	171 $\pm$ 7
Skilanglauf	172 $\pm$ 12	1,98 $\pm$ 0,50	171 $\pm$ 7
Skiaufstieg	175 $\pm$ 13	2,04 $\pm$ 0,50	175 $\pm$ 7
Rudern-Spurt	180 $\pm$ 16	2,21 $\pm$ 0,60	180 $\pm$ 16
Dauerlauf	192 $\pm$ 9	2,54 $\pm$ 0,53	190 $\pm$ 15

Tabelle 17:

Verschiedene alltägliche und sportliche Belastungen im Vergleich zur Ergometerbelastung; Vergleichskriterium: angenähert identische Herzfrequenz (Mittelwert und Standardabweichung)

Ein anderer Stellenwert der untersuchten Belastungsformen ergibt sich bei der Rangordnung in Abhängigkeit von dem systolischen Druckfrequenzprodukt, welche vom hämodynamischen Gesichtspunkt physiologischer als die Rangordnung nach der Herzfrequenz ist (Tabelle 18). Hier rangieren Treppensteigen und Dauerrudern mit einer adäquaten Ergometerleistung von 1,11 bzw. 1,26 W/kg Körpergewicht an niedrigster Stelle, die Skihocke nimmt mit 1,48 W/kg Körpergewicht einen mittleren Platz ein, während alle sportlichen Belastungen einer submaximalen Ergometerleistung, mit der Skiabfahrt an höchster Stelle, entsprechen.

Belastung	SAP x F (100 mmHg/min)	Ergometerleistung (W/kg KG) bei SAP x F (100 mmHg/min)	
Treppensteigen	182 ± 34	1,11 ± 0,23	182 ± 30
Dauerrudern	229 ± 30	1,26 ± 0,27	229 ± 42
Skihocke	243 ± 46	1,48 ± 0,52	243 ± 21
Skilanglauf	272 ± 46	1,73 ± 0,51	272 ± 27
Skiaufstieg	279 ± 40	1,78 ± 0,49	279 ± 25
Dauerlauf	290 ± 32	1,87 ± 0,66	288 ± 23
Rudern-Spurt	318 ± 52	2,09 ± 0,69	318 ± 20
Skiabfahrt	320 ± 45	2,14 ± 0,60	320 ± 22

Tabelle 18:

Verschiedene alltägliche und sportliche Belastungen im Vergleich zur Ergometerbelastung; Vergleichskriterium: angenähert identisches systolisches Druckfrequenzprodukt (Mittelwert und Standardabweichung)

Mentale Belastung durch Rechnen

Im Gegensatz zu den emotionalen Extremsituationen, die entweder stressbedingt sind oder höchste geistige Kondition erfordern, wobei Belastungstachykardien von mehr als 180 Schlägen/min gemessen werden (11, 49), waren der Blutdruck- und Frequenzanstieg beim schriftlichen Lösen unserer Rechenaufgaben gering. Das systolische Druckfrequenzprodukt steigt lediglich von $97,2 \pm 15,0$ in Ruhe auf $134,8 \pm 32,3$ beim Rechnen an. Damit liegt die geprüfte mentale Belastung noch deutlich unter der geringsten physischen Belastung durch Treppensteigen.

Die Resultate unserer Untersuchungen stehen in Übereinstimmung mit Blutdruck- und Frequenzregistrierung bei Koronarkranken, die am Wiener Determinationsgerät belastet wurden (62). In beiden Untersuchungen konnte bestätigt werden, daß der diastolische arterielle Blutdruck unter diesen mentalen Belastungen signifikant, in unserem Fall um 16 mm Hg ansteigt, während die Blutdruckamplitude mit 59 mm Hg gegenüber dem Ruhewert unverändert bleibt. Dieses Verhalten wird durch eine überwiegende Erhöhung des gesamtperipheren Widerstandes bei unverändertem Herzminutenvolumen und verringertem Schlagvolumen erklärt.

Treppensteigen

Als typisches Merkmal der Belastung durch Treppensteigen ist festzuhalten, daß das arterielle Blutdruckprofil demjenigen einer mäßigen dynamischen Belastung entspricht. Die Zuordnung des Treppensteigens zur Ergometrie an Hand identischer Werte der Herzfrequenz und des systolischen Druckfrequenzproduktes ergeben eine weitgehende Übereinstimmung ($1,16 \text{ W/kg}$ Körpergewicht bzw. $1,11 \text{ W/kg}$ Körpergewicht). Die Ausweitung der Blutdruckamplitude von $128/74 \text{ mm Hg}$ in Ruhe auf $144/74 \text{ mm Hg}$ bei Belastung wird ausschließlich von einem Anstieg des systolischen arteriellen Blutdrucks bestimmt. Dagegen nimmt bei der ver-

gleichbaren Ergometerstufe der diastolische arterielle Blutdruck von 74 mm Hg auf 84 mm Hg zu. Damit ist Treppensteigen als überwiegende Volumenbelastung des Herzens einzuordnen. Bei der entsprechenden Ergometerbelastung ist auf Grund des deutlichen diastolischen Druckanstieges eine höhere Komponente statischer Muskelarbeit beteiligt als beim Treppensteigen.

Rudern

Rudern ist nach unseren Ergebnissen im Gegensatz zu anderen Untersuchungen (33) hinsichtlich der Belastungshyper-tonie als kombiniert dynamisch-statische Belastung anzusehen. Sowohl das Blutdruckprofil beim gleichmäßigen Dauerrudern als auch bei den Ruderzwischenstarts zeigt einen erheblichen Anstieg des systolischen und diastolischen Blutdruckes mit einer deutlichen Zunahme des integrierten arteriellen Mitteldruckes (21). Diese bemerkenswerten Drucksteigerungen, vor allem während der Zwischenstarts, werden durch einen beträchtlichen statischen Anteil der Muskelarbeit mit überlagerter Preßatmung erklärt, entsprechend den Drucksteigerungen bei rein isometrischen Übungen (22). Das Dauerrudern mit insgesamt nur mäßiger Drucksteigerung fällt in den Bereich der für Herz- und Kreislauf trainingswirksamen Frequenzen (26, 31, 65). Dabei entspricht es mit einer Belastungstachykardie von knapp 150 Schlägen/min unter dem Gesichtspunkt angenähert gleicher Herzfrequenzen einer ergometrischen Belastung von 1,44 W/kg Körpergewicht. Interessanterweise zeigt die Fahrradergometrie das nahezu gleiche Blutdruckprofil. Die Unterschiede sind nur minimal. In beiden Fällen handelt es sich um Belastungen mit Einsatz großer Muskelgruppen und einer nicht unwesentlichen, aber auch nicht zu überschätzenden, durch Haltearbeit bedingten, statischen Komponente. Trotzdem erscheinen beide Übungen, das Ausdauerrudern und die submaximale Fahrradergometrie, auf Grund der für eine Ökonomisierung von Herz- und Kreislaufarbeit optimalen Herzfrequenz und der dabei nur mäßi-

gen Drucksteigerung als Herz-Kreislauftraining gut geeignet.

Beim Rudern mit hohem Krafteinsatz, wie es die Zwischenstarts darstellen, wird ein weitaus größerer diastolischer Blutdruckanstieg provoziert. Diese Drucksteigerung läßt sich mit der bei der rein isometrischen Ski-hocke gemessenen vergleichen. Auch die Belastungstachykardie erreicht mit 180 Schlägen/min fast die maximale altersentsprechende Grenze. Mit dieser hohen Herzfrequenz entsprechen die Ruderzwischenstarts einer ergometrischen Leistung von 2,21 W/kg Körpergewicht und liegen damit nur wenig unter der maximalen Ergometerbelastung. Während sich beide systolischen Blutdruckwerte nur wenig voneinander unterscheiden, ist der für die Druckbelastung charakteristische diastolische Blutdruckwert bei den Zwischenstarts erheblich und statistisch signifikant höher als bei der Fahrrad-ergometrie. Das bedeutet, daß der bei diesen hohen Leistungsstufen kombiniert dynamisch-statischen Ergometerbelastung mit den Ruderzwischenstarts, den "Klimmzügen am Ruder", eine Belastung gegenübergestellt wird, die ähnliche unökonomische hämodynamische Reaktionen provoziert wie die rein isometrischen Übungen (70). Diese Druckbelastung erscheint wenig geeignet, Patienten mit kardiovaskulären Erkrankungen als wirksames und empfehlenswertes Kreislauftraining zu dienen.

Dauerlauf

Dynamische Laufbelastung in einem von gymnastischen Übungen unterbrochenen Trimpfpfadkurs stellt hinsichtlich der nach LESTER maximal erreichbaren Herzfrequenz (45) eine Höchstbelastung für Herz- und Kreislaufsystem dar. Ähnlich hohe Frequenzen wurden auf dem Laufband als im Laboratorium durchführbarer Prüfstandmethode gemessen (1, 16, 17, 25, 27, 32, 34, 43, 44, 60). Radiotelemetrische Untersuchungen, die sich ausschließlich auf die Herzfrequenzmessung beschränken, zeigen bei Läufen im Freien ein unterschiedliches Bild. Während in Übereinstimmung mit unseren Ergeb-

nissen in einzelnen Fällen maximale Herzfrequenzen von 190 Schlägen/min erzielt wurden (51), wiesen die Mehrzahl der Untersuchungen niedrigere Belastungstachykardien auf. Dies lag daran, daß es sich entweder um Leistungssportler gehandelt hatte (61), oder daß altersabhängig nur submaximale Leistungen gefordert bzw. erreicht wurden (26). In allen Fällen wurde aber die minimale trainingswirksame Herzfrequenz von 135 Schlägen/min überschritten (26, 31).

Im Gegensatz zu den an gesunden Männern gemessenen arteriellen Blutdrucken bei maximaler Laufbandarbeit mit hohen systolischen Werten um 190 mm Hg (67), zeigen unsere Ergebnisse die charakteristischen Merkmale der Volumenhypertonie dynamischer Belastungen (4, 7, 69) mit nur geringem Anstieg des systolischen bei leichtem Abfall des diastolischen Blutdruckes und ebenfalls nur geringfügigem Anstieg des integrierten arteriellen Mitteldruckes. Die zum Vergleich herangezogene Ergometergruppe erreicht bei maximaler Belastung ebenfalls die nach LESTER altersentsprechende maximale Herzfrequenz. Von angenähert gleichen maximalen Herzfrequenzen (190 Schläge/min) ausgehend entspricht demzufolge das Laufen der maximalen Ergometerbelastung mit einer Leistung von 2,54 W/kg Körpergewicht. Damit stehen wir in Übereinstimmung mit anderen Beobachtungen, die hinsichtlich der Herzfrequenz bei maximaler Leistung auf dem Fahrradergometer und dem Laufband keine Unterschiede feststellen (19, 27, 28, 55). Wir können uns dagegen nicht der Ansicht anschließen, daß zwischen maximaler Ergometrie und maximaler Laufbandbelastung Frequenzdifferenzen bestehen, weil infolge des geringeren Muskellasseneinsatzes auf dem Fahrradergometer nicht das Frequenzniveau der Laufbandbelastung erreicht werden kann (32).

Da es sich bei maximaler Fahrradergometrie um eine ausgesprochen kombiniert dynamisch-statische Belastungsart handelt (55), unterscheidet sich das durch hohe Arbeitshypertonie und Druckbelastung gekennzeichnete Blutdruckprofil ganz erheblich von dem der dynamischen Laufbelastung trotz gleicher maximaler Belastungstachykardie. Ist der

Dauerlauf mit seinen typischen hämodynamischen Reaktionen, die jener Belastungsintensität entsprechen, die notwendig sind, um optimale Anpassungen des Organismus an Ausdauerbeanspruchungen zu erreichen (31), besonders trainingswirksam für Herz- und Kreislaufgesunde, so kann aus physiologischer Sicht von einem "naturgemäßen Heilverfahren" für Herz- und Kreislaufkranke nicht die Rede sein (70). In noch stärkerem Maße gilt diese Einschränkung für die maximale Ergometerbelastung. Neben der maximalen Belastungstachykardie stellt hier die hochgradige Belastungshypertonie ein ganz erhebliches Risiko für kardiovaskulär gefährdete Patienten dar. Für die Erhaltung oder Wiedererlangung der Fitness ist submaximalen Laufbelastungen der Vorzug zu geben (70), wenn die Herzfrequenz die Trainingsreizschwelle von 135 Schlägen/min, die eine Ökonomisierung der Herz-Kreislaufarbeit bedeutet, nicht unterschreitet (26, 31, 65).

Skilaufen

Radiotelemetrische Pulsfrequenzmessungen bei Skiläufern ergaben für alle Übungsabschnitte etwa die gleiche maximale Belastungstachykardie (64). Dies gilt auch für unsere Ergebnisse. Sowohl während der Skiabfahrt als auch während des Skilanglaufes und des Aufstieges zu Fuß wurden nahezu maximale altersentsprechende Herzfrequenzen von 171 bzw. 175 Schlägen/min gemessen. Hinsichtlich des Blutdruckprofils unter Belastung ist jedoch zu differenzieren zwischen der kombiniert dynamisch-statischen Skiabfahrt mit starkem Blutdruckanstieg, vor allem des diastolischen Druckwertes, und den beiden dynamischen Übungen Skilanglauf und Skiaufstieg, die wie der Dauerlauf das typische Bild der Volumenhypertonie zeigen. Eine nur mäßige systolische Drucksteigerung und ein praktisch unveränderter diastolischer Blutdruck bedingen einen lediglich geringen Anstieg des integrierten arteriellen Mitteldruckes.

Der Skiabfahrt entspricht auf Grund ihrer Belastungstachykardie von 171 Schlägen/min eine Ergometerbelastung von 1,98 W/kg Körpergewicht. Die Fahrradergometrie stellt bei diesen hohen Leistungsstufen ebenso wie die Skiabfahrt eine durch Arbeitshypertonie gekennzeichnete kombiniert dynamisch-statische Belastung dar. Daher ergibt sich für beide Belastungsarten auch ein ähnliches Blutdruckprofil, wenngleich es bei der Fahrradergometrie insgesamt auf einem etwas niedrigeren Niveau liegt. Die beiden dynamischen Übungen Langlauf und Aufstieg rufen im Vergleich zur Ergometerbelastung bei angenähert identischer Herzfrequenz eine erheblich geringere Belastungshypertonie hervor, wobei vor allem der hochsignifikant niedrigere diastolische Druckwert ein sicheres Indiz für die wesentlich ökonomischere und physiologischere Belastung ist. Bezüglich der Herzfrequenz von 171 Schlägen/min entspricht der Langlauf ebenso wie die Abfahrt einer ergometrischen Belastung von 1,98 W/kg Körpergewicht. Der Aufstieg zu Fuß liegt bei einer Belastungstachykardie von 175 Schlägen/min und einer entsprechenden Ergometerleistung von 2,04 W/kg Körpergewicht nur unbedeutend darüber.

Hinsichtlich der Belastungstachykardie, die in unserer Untersuchung nur von den Ruderzwischenstarts, dem Dauerlauf und der maximalen Fahrradergometrie übertroffen wird, stellt das Skilaufen in den von uns untersuchten Formen Aufstieg, Langlauf und Abfahrt eine hochgradige körperliche Belastung dar, wie wir sie von anderen sportlichen Höchstleistungen her kennen (18, 39, 40, 59, 61, 65). Die Beurteilung des Blutdruckprofils erlaubt uns jedoch eine Differenzierung in die beiden dynamischen Belastungen Aufstieg zu Fuß und Langlauf und die kombiniert dynamisch-statische Belastung Abfahrt (8, 20). Diese hämodynamischen Unterschiede spiegeln sich auch im Vergleich mit der Fahrradergometrie wider. Die beiden dynamischen Übungen weisen das wesentlich physiologischere Druckverhalten auf. Das Blutdruckprofil der zu einem großen Teil statischen Skiabfahrt liegt bei angenähert gleicher Herzfrequenz, vor allem was den diastolischen Blutdruck anbelangt, noch über dem schon hohen Druckniveau der Fahrradergometrie.

Isometrische Belastung (Skihocke)

Eine Sonderstellung unter den physischen Belastungsformen nimmt die rein isometrische Belastung ein. Hier wird keine Arbeit im physikalischen Sinne geleistet, da lediglich Kraft entwickelt wird, die zu keiner Massenbewegung führt. Die Reaktion des Herz-Kreislaufsystems auf isometrische Belastung war in den vergangenen Jahren Gegenstand einer großen Anzahl von Untersuchungen (15, 20, 22, 29, 46, 47, 48, 53, 56, 70), da sich herausstellte, daß sich die Kreislaufreaktion unter statischer Muskelarbeit in einem ganz spezifischen Blutdruckprofil äußert. Auch in unserem Probandenkollektiv resultiert während isometrischer Belastung (Skihocke) ein arterieller Blutdruckanstieg, der im Vergleich zu sämtlichen anderen Belastungsformen zu einem exzessiv hohen diastolischen Blutdruck von 117 ± 12 mm Hg führt. Der systolische Blutdruck am Ende der isometrischen Belastung liegt mit 190 ± 23 mm Hg erheblich über den Werten bei rein dynamischen Belastungen wie Dauerlauf, Skilanglauf und Skiaufstieg.

Die Bedeutung dieser früher nicht bekannten und heute in den üblichen Freizeit- und Breitensportarten kaum berücksichtigten Kreislaufbelastung liegt auf der Hand. Es konnte nachgewiesen werden, daß dieser Blutdruckanstieg auch bei Grenzwerthypertonikern und fixierten Hypertonikern annähert proportional zum Ruheblutdruck stattfindet (71). Dadurch ist bei Hypertonikern mit "krisenhaften" Blutdruckwerten mit der Konsequenz zerebro-vaskulärer Komplikationen zu rechnen.

Das Herzfrequenzprofil ist keineswegs als Kriterium der tatsächlichen Kreislaufbelastung durch isometrische Muskelarbeit geeignet. So entspricht die Herzfrequenz mit 128 ± 16 Schlägen/min bei der Skihocke nur einer Belastung auf dem Ergometer von 1,12 W/kg Körpergewicht. Dabei ist der Unterschied der Blutdruckwerte zwischen isometrischer Belastung und Ergometrie auf entsprechendem Frequenzniveau ganz erheblich und statistisch hochsignifikant.

Die besondere Gefahr isometrischer Belastungen, insbesondere für Hypertoniker, liegt in dem Fehlen subjektiver Symptome des Blutdruckanstieges im Sinne einer Signalfunktion. Auf alltägliche Verhältnisse übertragen bedeutet dies, daß das Heben und Tragen schwerer Gewichte für den gefährdeten Patienten ein schwer kalkulierbares Risiko darstellt.

Zusammenfassung

Kenntnisse über die Antwort des Herz-Kreislaufsystems auf alltägliche und sportliche Belastungen sind für die heutige Praxis der Sport- und Präventivmedizin sowie die Rehabilitation von Herz-Kreislaufkranken unerlässlich. Obwohl auch heute noch vielfach die Herzfrequenz mit der Herzbelastung gleichgesetzt wird, finden zunehmend hämodynamische Parameter, wie die Blutdrücke im großen und kleinen Kreislauf, Eingang in die Leistungsmedizin. Erst mit Hilfe der drahtlosen Telemetrie des intravasal gemessenen Blutdruckes wurde es möglich, hämodynamische Messungen am unbehinderten Probanden außerhalb des Kreislauflabors durchzuführen.

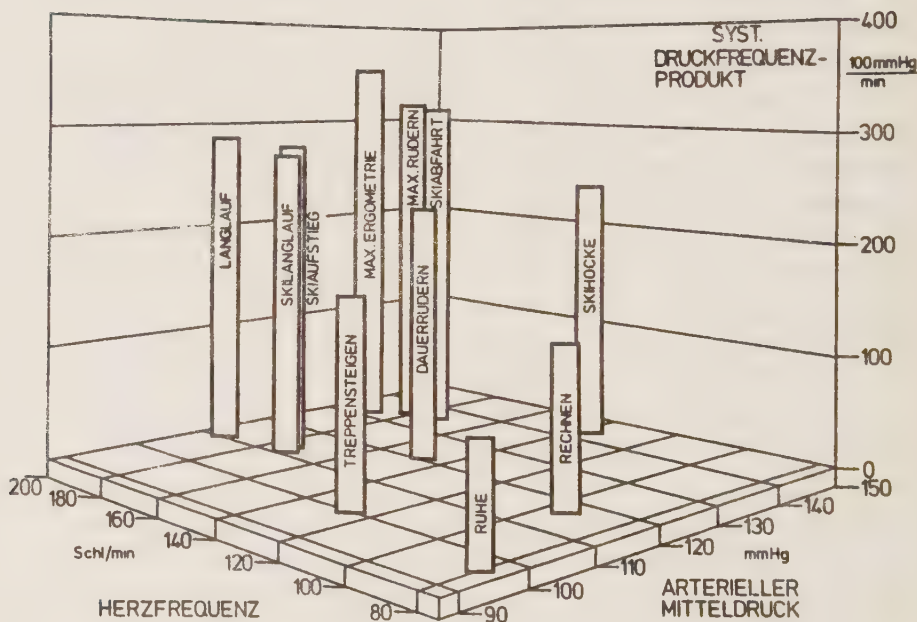
Dies war der Anlaß, in der vorliegenden Arbeit die Druck- und Frequenzbelastung unter verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen (Treppensteigen, Dauerlauf, Skiabfahrt, Skilanglauf, Rudern, isometrische Belastung und Rechnen) zu analysieren und mit den Ergebnissen der stufenweise ansteigenden, maximalen Fahrradergometrie zu vergleichen. Bei 400 normotonen, herz-kreislaufgesunden Probanden mit einem Durchschnittsalter von 31 ± 9 Jahren wurden radiotelemetrische Messungen des direkten arteriellen Blutdruckes und der Herzfrequenz durchgeführt. Daraus wurde das systolische Druckfrequenzprodukt und der Quotient aus arteriellem Mitteldruck und Blutdruckamplitude berechnet.

T r e p p e n s t e i g e n als repräsentative Alltagsbelastung ist gekennzeichnet durch einen geringen, auf den systolischen Blutdruck beschränkten Anstieg von 128 ± 14 mm Hg in Ruhe auf 144 ± 17 mm Hg, während der diastolische Blutdruck mit 74 ± 8 mm Hg unverändert bleibt. Die Herzfrequenz von 125 ± 15 Schlägen/min entspricht auf dem Ergometer einer Leistung von 1,16 W/kg Körpergewicht.

I s o m e t r i s c h e B e l a s t u n g (Skihocke) führt ebenfalls zu einer nur geringfügigen Belastungstachykardie von 128 ± 16 Schlägen/min, wogegen der arterielle Blutdruck exzessiv auf Mittelwerte von 190 ± 23 mm Hg

systolisch und 117 ± 12 mm Hg diastolisch ansteigt. Die unterschiedliche Blutdruckantwort ist Ausdruck der verschiedenartigen Muskelbelastung (dynamisch-isometrisch) und zeigt deutlich, daß das Herzfrequenzprofil keineswegs generell als Kriterium der tatsächlichen Herz-Kreislaufbelastung dienen kann.

Beim Dauerlauf werden in unserem Kollektiv eine mittlere Tachykardie von 192 ± 9 Schlägen/min erreicht.



Schematische Darstellung von Herzfrequenz, arteriellem Mitteldruck und systolischem Druckfrequenzprodukt nach den Ergebnissen radiotelemetrischer Messungen von arteriellem Blutdruck und Herzfrequenz bei Herz-Kreislaufgesunden unter verschiedenen alltäglichen und sportlichen Belastungen

Dagegen ist das arterielle Blutdruckprofil gekennzeichnet durch einen nur mäßigen Anstieg des systolischen Blutdruckes auf 151 ± 13 mm Hg und eine trendhafte Abnahme des diastolischen Blutdruckes. Verglichen mit der angenähert identischen Herzfrequenz bei der Ergometrie entspricht diese rein dynamische Belastung einer Leistung von 2,54 W/kg Körpergewicht.

Die Blutdruck- und Frequenzprofile der übrigen untersuchten sportlichen Belastungen ordnen sich zwischen die beiden Extremformen - Dauerlauf als rein dynamische und Skihocke als rein isometrische Muskularbeit - ein (Abbildung). Der Vergleich der entsprechenden Herzfrequenz bzw. des systolischen Druckfrequenzproduktes während der Ergometrie zeigt, daß es sich um submaximale bis maximale Belastungen handelt (unter Zugrundelegung der Herzfrequenz: Skilanglauf: 1,98 W/kg Körpergewicht, Skiabfahrt: 1,98 W/kg Körpergewicht, Skiaufstieg zu Fuß: 2,04 W/kg Körpergewicht, Rudern: 2,21 W/kg Körpergewicht - unter Zugrundelegung des systolischen Druckfrequenzproduktes: Skilanglauf: 1,73 W/kg Körpergewicht, Skiaufstieg zu Fuß: 1,78 W/kg Körpergewicht, Dauerlauf: 1,87 W/kg Körpergewicht, Rudern: 2,09 W/kg Körpergewicht, Skiabfahrt: 2,14 W/kg Körpergewicht).

Schlußfolgerungen:

Die hämodynamische Reaktion herz-kreislaufgesunder Personen auf verschiedenartige alltägliche und sportliche Aktivitäten ist abhängig von der Art der Muskularbeit. Bewegungsformen mit überwiegend dynamischer Muskularbeit, wie Treppensteigen, Dauerlauf und Skilanglauf, sind gekennzeichnet durch eine geringe Druckbelastung des großen Kreislaufes bei submaximalen bis maximalen altersentsprechenden Herzfrequenzen. Aus dem zunehmenden Anteil an statischer Muskularbeit beim Rudern, Skiabfahrtslauf und bei rein isometrischer Arbeit resultiert eine zunehmende, überwiegend auch diastolische Belastungshypertonie. Im Vergleich

zur maximalen Fahrradergometrie werden auf vergleichbarem Herzfrequenzniveau unterschiedliche Blutdruckwerte erreicht, so daß eine Orientierung an der Herzfrequenz allein nicht die Kreislaufbelastung bei sportlichen Aktivitäten voll repräsentiert.

Literatur

1. Astrand, I., A. Guharay, J. Wahren:
Circulatory responses to arm exercise with
different arm positions
J. Appl. Physiol. 25, 528-532 (1968)
2. Astrand, P.O., T.E. Cuddy, B. Saltin, J. Steuerg:
Cardiac output during submaximal and
maximal work
J. Appl. Physiol. 19, 268-274 (1964)
3. Bachmann, K., J. Thebis:
Die drahtlose Übertragung kontinuierlicher
direkter Blutdruckmessungen
Z. Kreislaufforsch. 56, 188-191 (1967)
4. Bachmann, K.:
Probleme der Blutdruckmessung
Sportarzt u. Sportmed. 20, 272-281 (1969)
5. Bachmann, K., R. Zerzawy:
Automatische, kontinuierliche Pulsdefizit-
aufzeichnung in Ruhe und während körper-
licher Belastung
Verh. Dtsch. Ges. Kreislaufforsch.
35, 191-198 (1969)
6. Bachmann, K., R. Zerzawy, R. Haasis, A. Hennig:
Pulmonaler und arterieller Belastungsblutdruck
nach Mitral- und Aortenklappenersatz
Verh. Dtsch. Ges. Kreislaufforsch.
36, 93-100 (1970)
7. Bachmann, K., R. Zerzawy, P.J. Riess, K.A. Zölch:
Blutdrucktelemetrie
Dtsch. med. Wschr. 95, 741-747 (1970)
8. Bachmann, K., P.J. Riess, R. Zerzawy:
Kombinierte drahtlose Telemetrie von arte-
riellem Blutdruck und Elektrokardiogramm
beim Skifahren
Sportarzt u. Sportmed. 21, 77-82 (1970)
9. Bachmann, K., H. Hoffmann, W. Günthner, R. Zerzawy:
Ergebnisse telemetrischer Kreislaufunter-
suchungen beim Saunabadevorgang
Sauna-Archiv 9, 1-7 (1971)
10. Bachmann, K., R. Zerzawy:
Koronare Herzerkrankung und Straßenverkehr
Arzt und Auto 6, 21-26 (1979)

11. Bassan, L.:
Simultane radio-telemetrische Untersuchung
der Herzschlagfrequenz an Reiter und Pferd
beim Springreiten
Sportarzt u. Sportmed. 21, 30-38 (1970)
12. Buskirk, E.R., J. Kollias, R.F. Akers, E.K. Prokop,
E.P. Reategui:
Maximal performance at altitude and on return
from altitude in conditioned runners
J. Appl. Physiol. 23, 259-266 (1967)
13. Clausen, J.P., J. Trap-Jensen:
Heart Rate and Arterial Blood Pressure during
Exercise in Patients with Angina Pectoris
Circulation 53, 436-442 (1976)
14. Dittrich, J., W. Himmel:
Radioelektrokardiographie bei Herz- und Kreis-
laufkranken eines Rehabilitationszentrums
während Leistungsversuchs nach Pauli und ergo-
metrischer Belastung - eine Vergleichsstudie
Z. Kardiol. 63, 82-95 (1974)
15. Donald, K.W., A.R. Lind, G.W. McNicol, P.W. Humphreys,
S.H. Taylor, H.P. Staunton:
Cardiovascular Responses to Sustained (Static)
Contractions
Circul. Research 20, 21; Suppl. I, 15-32 (1967)
16. Ekblom, B., P.O. Astrand, B. Saltin, J. Stenberg,
B. Wallström:
Effect of training on circulatory response
to exercise
J. Appl. Physiol. 24, 518-528 (1968)
17. Ellestad, M.H., W. Allen, M.C.K. Wan, G.L. Kemp:
Maximal Treadmill Stress Testing for Cardio-
vascular Evaluation
Circulation 39, 517-522 (1969)
18. Faulkner, J.A., J.T. Daniels, B. Balke:
Effects of training at moderate altitude on
physical performance capacity
J. Appl. Physiol. 23, 85-89 (1967)
19. Faulkner, J.A., D.E. Roberts, R.L. Elk, J. Conway:
Cardiovascular responses to submaximum and
maximum effort cycling and running
J. Appl. Physiol. 30, 457-461 (1971)
20. Fleischer, H., R. Zerzawy, K. Bachmann:
Combined Telemetry of Cardiovascular Para-
meters in Sports
in: Neukomm, F.A. (ed.): 2nd International
Symposium on Biotelemetry (Basel 1974)

21. Fleischer, H., R. Zerzawy, M. Petenyi, K. Bachmann:
Telemetrische Untersuchungen der Herz- und
Kreislaufbelastung beim Rudern
Sportarzt u. Sportmed. 27, 97-100 (1976)
22. Freyschuss, U.:
Elicitation of heart rate and blood pressure
increase on muscle contraction
J. Appl. Physiol. 28, 758-761 (1970)
23. Gauer, O.H.:
Kreislauf des Blutes
in: Trautwein, O.W., O.H. Gauer, H.W. Koepchen:
Physiologie des Menschen, Band 3, Herz und
Kreislauf
(Urban und Schwarzenberg, München 1972)
24. Haissly, J.C., R. Messin, S. Degre, P. Vandermoten,
B. Demaret, H. Denolin:
Comparative Response to Isometric (Static)
and Dynamic Exercise Tests in Coronary Disease
Am. J. Cardiol. 33, 791-795 (1974)
25. Hanson, J.S.:
Maximal exercise performance in members of
the US Nordic Ski Team
J. Appl. Physiol. 35, 592-595 (1973)
26. Henning, C., P. Beckmann, H.W. Kirchhoff:
Längsschnittuntersuchungen mit dem Langzeit-
speicher-EKG im Rahmen der Terrainkur
Herz/Kreisl. 2, 317 (1970)
27. Hermansen, L., B. Saltin:
Oxygen uptake during maximal treadmill and
bicycle exercise
J. Appl. Physiol. 26, 31 (1969)
28. Hermansen, L., B. Ekblom, B. Saltin:
Cardiac output during submaximal and maximal
treadmill and bicycle exercise
J. Appl. Physiol. 29, 82-86 (1970)
29. Hettinger, T., W. Hollmann, M. Schoenenborn:
Über den Einfluß isometrischer (statischer)
Beanspruchung mittelgroßer Muskelgruppen
auf den Kreislauf aus der Sicht rehabilita-
tiver Kardiologie
Herz/Kreisl. 5, 329-331 (1973)
30. Hille, H., H. Kienle, W. Fehling:
Das Verhalten der Herzfrequenz beim Gehen
in freiem Gelände im Vergleich zur Arbeit
auf dem Ergometer
Z. Kreislaufforsch. 60, 958-970 (1971)

31. Hollmann, W., C. Frese, D. Sell, K. Kastner:
Kontinuierliche Herzschlagfrequenz-Registrierung beim Dauerlauftraining mit männlichen und weiblichen Leistungs-Leichtathleten
Sportarzt u. Sportmed. 19, 318-329 (1968)
32. Hollmann, W., H. Heck, B. Schmücker, A. Stolte, H. Liesen, M.D. Fotescu, D.N. Mathur:
Vergleichende spiropneumographische Untersuchungen über den Effekt und die Aussagekraft von Laufband- und Fahrradergometerbelastungen
Sportarzt u. Sportmed. 22, 123-134 (1971)
33. Hollmann, W.:
Körperliches Training zur Prävention und Rehabilitation degenerativer kardiovaskulärer Erkrankungen
Fortschr. Med. 90, 873-918 (1972)
34. Holmer, I., E.M. Stein, B. Saltin, B. Ekblom, P.O. Astrand:
Hemodynamic and respiratory responses compared in swimming and running
J. Appl. Physiol. 37, 49-54 (1974)
35. Imhof, P.R., K. Blatter, L.M. Fuccella, M. Turri:
Beta-blockade and emotional tachycardia; radiotelemetric investigations in ski jumpers
J. Appl. Physiol. 27, 366-369 (1969)
36. Jackson, D.H., T.J. Reeves, L.T. Sheffield, J. Burdeshaw:
Isometric Effects on Treadmill Exercise Response in Healthy Young Men
Am. J. Cardiol. 31, 344-350 (1973)
37. Jorgensen, C.R., K. Kitamura, F.L. Gobel, H.L. Taylor, Y. Wang:
Long term precision of the N2O method for coronary flow during heavy upright exercise
J. Appl. Physiol. 30, 338-343 (1971)
38. Jorgensen, C.R., K. Wang, Y. Wang, F.L. Gobel, R.R. Nelson, H.L. Taylor:
Effect of propranolol on myocardial oxygen consumption and its hemodynamic correlates during upright exercise
Circulation 48, 1173-1176 (1973)
39. Karvonen, J.:
Über das Ausdauertraining einer Skiläufergruppe in der Periode des Grundlagentrainings
Med. u. Sport 17, 60-62 (1977)

40. Kasch, F.W., W.H. Phillips, J.E.L. Carter, J.L. Boyer:
Cardiovascular changes in middle-aged men
during two years of training
J. Appl. Physiol. 34, 53-57 (1973)
41. Kitamura, K., C.R. Jorgensen, F.L. Gobel, H.L. Taylor,
Y. Wang:
Hemodynamic correlates of myocardial oxygen
consumption during upright exercise
J. Appl. Physiol. 32, 516-521 (1972)
42. Klensch, H.:
Kreislaufreaktivität und Plasma-Noradrenalin
des Menschen beim Rauchen vor und nach Be-
handlung mit Prenylamin
Z. Kreislaufforsch. 54, 771-776 (1965)
43. Koeslag, J.H., A.W. Sloan:
Maximal heart rate and maximal oxygen consump-
tion of long-distance runners and other athle-
tes
J. Sports Med. 16, 17-21 (1976)
44. Lester, F.M., L.T. Sheffield, T.J. Reeves:
Electrocardiographic Changes in Clinically
Normal Older Men Following Near Maximal and
Maximal Exercise
Circulation 36, 5-14 (1967)
45. Lester, M., L.T. Sheffield, P. Trammell, T.J. Reeves:
The effect of age and athletic training on the
maximal heart rate during muscular exercise
Am. Heart. J. 76, 370-376 (1968)
46. Lind, A.R., G.W. McNicol:
Cardiovascular responses to holding and car-
rying weights by hand and by shoulder harness
J. Appl. Physiol. 25, 261-267 (1968)
47. Lind, A.R.:
Cardiovascular Responses to Static Exercise
Circulation 41, 173-176 (1970), (Editorial)
48. Lindquist, V.A.Y., R.D. Spangler, S.G. Blount:
A comparison between the effects of dynamic
and isometric exercise as evaluated by the
systolic time intervals in a normal man
Am. Heart. J. 85, 227-236 (1973)
49. Lönne, E., C. Lönne, J. Fahrenberg, H. Roskamm:
Pulsfrequenzmessungen und EKG-Registrierung
bei Autorennen
Sportarzt u. Sportmed. 19, 103-112 (1968)

50. Mann, D., M. Winkelmann:
Die Herzfrequenz unter Belastung als Kriterium der Leistungsfähigkeit beim Herzkranken
Z. Kreislaufforsch. 56, 126-142 (1967)
51. McArdle, W.D., G.F. Foglia, A.V. Patti:
Telemetered cardiac response to selected running events
J. Appl. Physiol. 23, 566-570 (1967)
52. McArdle, W.D., R.M. Glaser, J.R. Magel:
Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking
J. Appl. Physiol. 30, 733-738 (1971)
53. McDermott, D.J., W.J. Stekiel, J.J. Barboriak, L.C. Kloth, J.J. Smith:
Effect of age on hemodynamic and metabolic response to static exercise
J. Appl. Physiol. 37, 923-926 (1974)
54. Nelson, R.R., F.L. Gobel, C.R. Jorgensen, K. Wang, Y. Wang, H.L. Taylor:
Hemodynamic Predictors of Myocardial Oxygen Consumption During Static and Dynamic Exercise
Circulation 50, 1179-1189 (1974)
55. Niederberger, M., S. Gasic, F. Kummer:
Hämodynamische Unterschiede zwischen maximaler Laufband- und Fahrradergometrie bei koronarer Herzkrankheit
Z. Kardiol. 64, 239-245 (1975)
56. Petrofsky, J.S., A.R. Lind:
Aging, isometric strength and endurance, and cardiovascular responses to static effort
J. Appl. Physiol. 38, 91-95 (1975)
57. Quarry, V.M., D.H. Spodick:
Cardiac Responses to Isometric Exercise
Circulation 49, 905-920 (1974)
58. Robinson, B.F.:
Relation of Heart Rate and Systolic Blood Pressure to the Onset of Pain in Angina Pectoris
Circulation 35, 1073-1083 (1967)
59. Roloff, D., E. Klotzbücher:
Experimentelle Untersuchungen zur Beziehung zwischen Dauerleistungsgrenze und maximaler Leistungsfähigkeit bei untrainierten Männern
Med. u. Sport 15, 206-209 (1975)

60. Saltin, B., P.O. Astrand:
Maximal oxygen uptake in athletes
J. Appl. Physiol. 23, 353-358 (1967)
61. Scheele, K., E.J. Klaus:
Vergleichende telemetrische Untersuchungen
beim 1000-m-Gehen und -Laufen
Sportarzt u. Sportmed. 23, 94-96 (1972)
62. Tänzer, J., I. Weyhmann, H. Zipp, G. Hildebrandt:
Herz- und Kreislaufuntersuchungen bei Koro-
narkranken während dosierter psychovegeta-
tiver Belastung am Winer Determinations-
gerät
Herz/Kreisl. 6, 249-257 (1974)
63. Thadani, U., R.O. West, T.M. Mathew, J.O. Parker:
Hemodynamics at Rest and During Supine and
Sitting Bicycle Exercise in Patients with
Coronary Artery Disease
Am. J. Cardiol. 39, 776-783 (1977)
64. Voigt, E.D., D. Klinge:
Telemetrische Pulsfrequenzmessungen bei
Schiläufern
Sportarzt u. Sportmed. 20, 467-475 (1969)
65. Weidemann, H., G. Huber, H. Roskamm, H. Keppler:
EKG-Telemetrie mit tragbaren Speicher-
geräten
Leistungssport 37-46 (1972)
66. Wetterer, E.:
Bau und Funktionen des Gefäßsystems
in: Keidel, W.D.: Kurzgefaßtes Lehrbuch
der Physiologie
(Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1973)
67. Wolthuis, R.A., V.F. Froelicher, J. Fischer,
J.H. Triebwasser:
The Response of Healthy Men to Treadmill
Exercise
Circulation 55, 153-157 (1977)
68. Zerzawy, R., K. Bachmann, A. Hennig:
Simultane drahtlose Telemetrie von mehre-
ren biologischen Meßgrößen
Z. Kreislaufforsch. 60, 162-169 (1971)

69. Zerzawy, R., K. Bachmann:
Der Blutdruck im großen und kleinen Kreis-
lauf unter Bedingungen des täglichen Lebens
Int. Eröffnungs-Symposion (Bad Krozingen 1972)
in: Roskamm, H., H. Reindell: Das chronisch
kranke Herz
(F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart-New York 1973)
70. Zerzawy, R., K. Bachmann, H. Fleischer:
Telemetrische Untersuchungen der Herz- und
Kreislaufbelastung auf einem Trimpfad
Dtsch. med. Wschr. 101, 664-668 (1976)
71. Zerzawy, R., A. Reis, K. Bachmann:
Belastungshypertonie bei Hochdruckkranken
und Grenzwerthypertonikern
Tagung der Deutschen Ges. f. Kreislauf-
forschung (Bad Nauheim 1977)

Herrn Prof. Dr. med. Kurt Bachmann, Direktor der Medizinischen Poliklinik der Universität Erlangen-Nürnberg, danke ich vielmals für die Vergabe dieser Arbeit.

Ganz besonderen Dank schulde ich Herrn Dr. med. Rainer Zerzawy, ehemaliger wissenschaftlicher Assistent der Medizinischen Poliklinik der Universität Erlangen-Nürnberg und Assistenzarzt des Städtischen Krankenhauses in Fürth, der mir vielfältige Unterstützung bei der Planung und Durchführung der Arbeit sowie der Auswertung und kritischen Würdigung der Befunde gewährte.

Weiterhin gilt mein Dank Frau Dr. med. Petenyi, ehemalige Assistenzärztin der Medizinischen Poliklinik der Universität Erlangen-Nürnberg, für die Ratschläge bezüglich der statistischen Auswertung.

